

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA UNA MAQUINA EXTRUSORA  
DE POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD PARA FABRICAR  
PELÍCULAS DE POLIETILENO, PARA LA EMPRESA INCOLPA LTDA.**

**FEDERICO CARVAJAL GARCES**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
SANTIAGO DE CALI  
2015**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA UNA MAQUINA EXTRUSORA DE  
POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD PARA FABRICAR PELÍCULAS  
DE POLIETILENO, PARA LA EMPRESA INCOLPA LTDA.**

**FEDERICO CARVAJAL GARCES**

**Pasantía Institucional para optar el título de Ingeniero en Electrónica y  
Telecomunicaciones**

**Director  
JIMMY TOMBE ANDRADE  
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
SANTIAGO DE CALI  
2015**

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero en Electrónica y telecomunicaciones.**

**Juan Carlos Mena**  

---

**Jurado**

**Santiago de Cali, 17 de julio de 2015**

“Este logro se lo debo principalmente a Dios porque sin él no hubiera podido salir adelante con este sueño, a mis padres por siempre darme motivación para alcanzar el éxito, pero sobre todo a mi madre por ser la persona que todos los días me tuvo en cuenta en sus oraciones para cumplir este tan anhelado sueño, a mis profesores y compañeros por contribuir con su granito de arena para obtener mis conocimientos en esta etapa de mi vida.”

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a las personas vinculadas a la empresa INCOLPA LTDA, por brindarme la oportunidad de demostrar los conocimientos adquiridos a lo largo de carrera de ingeniería electrónica y telecomunicaciones, sobre todo a los jefes de producción que siempre me dieron buenos consejos para ser mejor profesional.

A los profesores del departamento de Automática y electrónica por brindarme su conocimiento durante el desarrollo de mi pasantía y carrera universitaria, además resaltar su gran conocimiento y experiencia en el tema de automatización.

A la universidad Autónoma de Occidente por los años que me brindo educación de alta calidad con sus excelentes maestros y guías que tiene en sus filas.

Y a todas las personas que de una u otra manera estuvieron durante estos años de formación profesional que me motivaron a convertir este sueño en realidad.

<b>CONTENIDO</b>		<b>Pág.</b>
<b>GLOSARIO</b>		<b>13</b>
<b>RESUMEN</b>		<b>14</b>
<b>INTRODUCCION</b>		<b>16</b>
<b>ANTECEDENTES</b>		<b>17</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACION</b>		<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>20</b>
<b>4.2</b>	<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>21</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>		<b>22</b>
<b>OBJETIVOS</b>		<b>23</b>
<b>OBJETIVOS GENERALES</b>		<b>23</b>
<b>7.1</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>23</b>
<b>MARCO DE REFERENCIA</b>		<b>24</b>
<b>MARCO TEORICO</b>		<b>24</b>
<b>8.1.1</b>	<b>Extrusión</b>	<b>24</b>
<b>8.1.2</b>	<b>Proceso de Extrusión y Elementos constituyentes</b>	<b>25</b>
<b>8.1.3</b>	<b>Extrusión de película tubular</b>	<b>28</b>
<b>8.1.4</b>	<b>Tratamiento corona</b>	<b>32</b>
<b>8.1.5</b>	<b>Termocuplas</b>	<b>33</b>
<b>8.1.6</b>	<b>PLC</b>	<b>34</b>
<b>8.1.7</b>	<b>INTERFAZ HMI.</b>	<b>36</b>

<b>METODOLOGIA</b>	<b>38</b>
<b>DESARROLLO DE LA METODOLOGIA</b>	<b>39</b>
<b>10.1 Etapa de recolección de información y requisitos.</b>	<b>39</b>
10.1.1 Estructura de la máquina.	39
10.1.2 Proceso de extrusión	40
10.1.3 Requerimientos Para Sistema De Control Y Supervisión.	41
<b>10.2 Etapa de diseño arquitectural del sistema de control, supervisión y especificaciones.</b>	<b>41</b>
10.2.1 Sistema de temperatura para cada zona	42
10.2.2 Diagrama De Bloques De Sistema De Temperatura.	45
10.2.3 Sistema de velocidad para motores	46
10.2.4 Diagrama De Bloques De Sistema De Velocidad de Motores.	49
10.2.5 Sistema de tensión para rodillo embobinador	50
10.2.6 Diagrama De Bloques De Sistema de Tensión para rodillos	52
10.2.7 Sistema de elevación de la torre	53
10.2.8 Diagrama de bloques del sistema de elevación de torre.	56
10.2.9 Sistema de activación de turbina	57
10.2.10 Diagrama de bloques de activación de la turbina.	59
10.2.11 Sistema de control para el tratador corona	60
10.2.12 Diagrama de bloques para el tratador corona	62
10.2.13 Interfaz HMI de sistema de control y supervisión.	63
10.2.13.1 Estados	63
10.2.13.2 Ubicación de los elementos	64

<b>10.2.13.3</b>	<b>Alarmas</b>	<b>64</b>
<b>10.2.13.4</b>	<b>Señales de seguridad</b>	<b>65</b>
<b>10.2.13.5</b>	<b>Letras y números</b>	<b>65</b>
<b>10.2.13.6</b>	<b>Señalizaciones de conductos</b>	<b>66</b>
<b>10.2.14</b>	<b>Interfaz HMI de sistema de control y supervisión.</b>	<b>66</b>
<b>10.2.15</b>	<b>Sistema de paro de emergencia</b>	<b>69</b>
<b>10.3</b>	<b>Etapa de diseño lógico del sistema de control y supervisión.</b>	<b>70</b>
<b>10.3.1</b>	<b>Diseño de sistema de paro de emergencia.</b>	<b>70</b>
<b>10.3.1.1</b>	<b>Componentes del sistema de paro de emergencia</b>	<b>70</b>
<b>10.3.1.2</b>	<b>Programación de parada de emergencia</b>	<b>70</b>
<b>10.3.2</b>	<b>Diseño de sistema de control de temperatura en las zonas</b>	<b>70</b>
<b>10.3.2.1</b>	<b>Componentes del sistema de control de temperatura</b>	<b>71</b>
<b>10.3.2.2</b>	<b>Interfaz de sistema de control de temperatura</b>	<b>71</b>
<b>10.3.2.3</b>	<b>Programación del Control de temperatura.</b>	<b>73</b>
<b>10.3.3</b>	<b>Diseño de sistema de control de motores</b>	<b>79</b>
<b>10.3.3.1</b>	<b>Componentes del sistema de control de motores</b>	<b>79</b>
<b>10.3.3.2</b>	<b>Interfaz de sistema de control para motores.</b>	<b>79</b>
<b>10.3.3.3</b>	<b>Programación del control para motores</b>	<b>82</b>
<b>10.3.4</b>	<b>Diseño de sistema de control a Turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.</b>	<b>87</b>
<b>10.3.4.1</b>	<b>Componentes de sistema de control de turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.</b>	<b>87</b>
<b>10.3.4.2</b>	<b>Interfaz de sistema de sistema de control de turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.</b>	<b>87</b>



10.3.4.3	Programación de control a Turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.	90
10.3.5	Pantalla de monitorización	98
10.4	Etapas de selección de componentes	99
10.4.1	Selección de computadora	99
10.4.2	Selección de PLC y módulos	99
10.4.3	Selección de equipos para sistema de temperatura de zonas	99
10.4.4	Selección de equipos para sistema de control de motores.	101
10.4.5	Selección de componentes para sistema de tensión de rodillos	101
10.4.6	Selección de componentes para el sistema del tratador corona y turbina	102
10.4.7	Selección de equipos para sistema de control de torre.	103
10.4.8	Presupuesto para el sistema de control y supervisión.	104
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>107</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		<b>114</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>116</b>

## **TABLA DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1 Panel de control, Maquina Extrusora de polietileno fabricada por MACCHI S.p.A</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2 Panel de control, Maquina Extrusora de polietileno fabricada por REIFENHÄUSER GROUP REIFENHÄUSER GMBH &amp; CO. KG MASCHINENFABRIK</b>	<b>18</b>
<b>Figura 3 Panel de control, Maquina Extrusora de polietileno fabricada por WINDMÖLLER &amp; HÖLSCHER</b>	<b>19</b>
<b>Figura 4 Extrusora</b>	<b>25</b>
<b>Figura 5 Diseños de la tolva de alimentación</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6 Zonas características del tornillo.</b>	<b>27</b>
<b>Figura 7 Proceso de fabricación de película tubular</b>	<b>28</b>
<b>Figura 8 Cabezal de alimentación lateral</b>	<b>29</b>
<b>Figura 9 Secciones de una boquilla de extrusión de Película Tubular.</b>	<b>30</b>
<b>Figura 10 Sistema de colapsamiento y halado de la burbuja</b>	<b>31</b>
<b>Figura 11 Descarga corona</b>	<b>32</b>
<b>Figura 12 Tratamiento corona</b>	<b>33</b>
<b>Figura 13 Termocupla</b>	<b>33</b>
<b>Figura 14 Tipos de termocuplas</b>	<b>34</b>
<b>Figura 15 Diagrama de arquitectura PLC.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 16 plano de la maquina extrusora numero 4</b>	<b>39</b>
<b>Figura 17 Polímeros termoplásticos peletizados</b>	<b>40</b>
<b>Figura 18 Plano de conexión de sistema de control para una zona</b>	<b>42</b>
<b>Figura 19 Control ON/OFF</b>	<b>43</b>
<b>Figura 20 Plano de conexiones para motores</b>	<b>46</b>

<b>Figura 21 Circuito de control para variadores de velocidad</b>	<b>47</b>
<b>Figura 22 Plano de conexiones para sistema de tensión en rodillos</b>	<b>50</b>
<b>Figura 23 Diagrama de control para la inversión de giro</b>	<b>53</b>
<b>Figura 24 Diagrama de fuerza para el sistema inversor de giro</b>	<b>53</b>
<b>Figura 25 Plano de conexión de la turbina</b>	<b>57</b>
<b>Figura 26 Plano de conexión para el tratador corona</b>	<b>60</b>
<b>Figura 27 Representación por color de los estados en un motor</b>	<b>64</b>
<b>Figura 28 Principio de similitud en botones de acción</b>	<b>64</b>
<b>Figura 29 Ejemplos de la NTC 1461 para señales generales de seguridad</b>	<b>65</b>
<b>Figura 30 Menú de opción de la interfaz HMI</b>	<b>67</b>
<b>Figura 31 Modulo de comunicación Ethernet</b>	<b>68</b>
<b>Figura 32 Plano de conexión para parada de emergencia</b>	<b>69</b>
<b>Figura 33 Botón de parada de emergencia</b>	<b>69</b>
<b>Figura 34 Sistema de paro de emergencia</b>	<b>70</b>
<b>Figura 35 Componentes del sistema de control de Temperatura</b>	<b>71</b>
<b>Figura 36 Pantalla principal, opción TEMPERATURA DE ZONAS</b>	<b>71</b>
<b>Figura 37 Temperatura de las zonas</b>	<b>72</b>
<b>Figura 38 Diagrama de flujo del Sistema de temperatura</b>	<b>73</b>
<b>Figura 39 Bloque de función de escalamiento</b>	<b>77</b>
<b>Figura 40 Rango de temperaturas y sensibilidad de termocuplas para el módulo EM231</b>	<b>78</b>
<b>Figura 41 Componentes del sistema de control para motores.</b>	<b>79</b>
<b>Figura 42 Pantalla principal opción, velocidad de motores</b>	<b>80</b>
<b>Figura 43 interfaz de Control para motores</b>	<b>81</b>
<b>Figura 44 Diagrama de flujo para el control de motores</b>	<b>82</b>

<b>Figura 45 Motor en fallo.</b>	<b>86</b>
<b>Figura 46 Componentes de sistemas de control de turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.</b>	<b>87</b>
<b>Figura 47 pantalla principal, opción turbina, tratador, tensión de rodillo, control de torre</b>	<b>88</b>
<b>Figura 48 interfaz para control de turbina, tratador, tensión de rodillo, control de torre</b>	<b>89</b>
<b>Figura 49 Diagrama de flujo para el control del tratador corona.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 50 Diagrama de flujo para el control de la turbina</b>	<b>91</b>
<b>Figura 51 Diagrama de flujo para el control de tensión en rodillo embobinador.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 52 Diagrama de flujo para el control de la torre.</b>	<b>93</b>
<b>Figura 53 Pistones y Tratador en Fallo</b>	<b>97</b>
<b>Figura 54 Pantalla de monitorización de principales componentes.</b>	<b>98</b>

## **Lista de Anexos**

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo A. Especificaciones de la CPU 224</b>	<b>114</b>
<b>Anexo B. Módulo de salidas Digitales</b>	<b>115</b>
<b>Anexo C. Entrada análoga para termocuplas</b>	<b>117</b>
<b>Anexo D. Módulo de salidas análogas</b>	<b>118</b>
<b>Anexo E. Módulo de conexión Ethernet</b>	<b>119</b>
<b>Anexo F. Válvula neumática</b>	<b>120</b>

## GLOSARIO

**HUSILLO:** es un tipo de tornillo largo y de gran diámetro, utilizado para accionar los elementos de apriete tales como prensas o mordazas, así como para producir el desplazamiento lineal de los diferentes carros de fresadoras y tornos, o en compuertas hidráulicas. Puede ser de metal, metálico (el material más utilizado es acero templado), de madera o PVC. En ocasiones se le menciona como tornillo sin fin.

**HMI:** interfaz de usuario por sus siglas en idioma inglés, (Human Machine Interface) que se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquinas; Aplicable a sistemas de Automatización de procesos.

**SCADA:** acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

**TERMOCUPLA:** es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado “punto caliente” o “unión caliente” o de “medida” y el otro llamado “punto frío” o “unión fría” o de “referencia”.

## **RESUMEN**

El propósito principal de este proyecto de grado constituye el diseño del sistema de control para una máquina extrusora de polietileno de alta y baja densidad para fabricar películas de polietileno, para la empresa INCOLPA LTDA.

En el documento se expone los métodos de desarrollo que se emplearon para el diseño del proyecto, que como objetivo general es brindar a la empresa una alternativa de solución a los problemas que actualmente tiene en la extrusora de polietileno de alta y baja densidad número 4.

El desarrollo de la pasantía tiene como fin actualizar el tablero de control existente, el cual ha sido modificado un gran número de veces pero no existe registro de estas modificaciones, por lo tanto cual quiera sea el fallo que esté presente es de gran dificultad resolverlo, además que los mecanismos de control son obsoletos.

Es muy impórtate resaltar que las opiniones de operarios, jefes de producción y personal de mantenimiento fueron tenidas en cuenta para dar la mejor solución al diseño de esta máquina.

## INTRODUCCION

El control automático ha desempeñado una función vital en el avance de la ingeniería y la ciencia, es una parte importante e integral de los procesos modernos industriales. Prácticamente, cada aspecto de las actividades de nuestra vida diaria está afectado por algún tipo de sistema de control. Los sistemas de control se encuentran en gran cantidad en todos los sectores de la industria tales como control de calidad de los productos manufacturados, líneas de ensamble automático, control de máquinas y herramientas, sistemas de transporte, sistemas de potencia, robótica, etc., aun el control de inventarios y los sistemas económicos y sociales se pueden analizar a través de la teoría de control automático.<sup>1</sup>

Los sistemas de control tienen como objetivo manejar con una o más entradas , las salidas de una planta; para hacerlo, se requiere un conjunto de componentes físicos conectados entre sí, de manera que regulen su actuación por sí mismos, es decir; sin necesidad de manipulaciones humanas, corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento.

Un ejemplo de esto son los tablero de control que facilitan la toma de decisiones a el operario, ya que tiene la posibilidad conocer las desviaciones de los planes, programas y estrategias y facilita tomar medidas correctivas, por lo tanto aumenta la efectividad y la fiabilidad del proceso a realizar, traduciéndose esto en beneficios económicos para la empresa.

INCOLPA LTDA es una empresa que fue fundada en Santiago de Cali el 15 de Junio de 1973 con el nombre de INCOPAL LTDA. EN Diciembre de 1982 su razón social cambió por Industria Colombiana de papeles INCOLPA LTDA, Esta es una empresa dedicada a la producción y distribución de bolsas rollos y resmas de papel, bolsas y rollos de polietileno en alta y baja densidad impresos o sin impresión de acuerdo a lo requerido por los clientes.

---

<sup>1</sup> RAMÍREZ, José Miguel. Sistemas de control 1: Máquinas extrusoras. Ingeniero electrónico. Cali: Universidad del Valle. Departamento de ingenierías. 2009. 150p.



## ANTECEDENTES

Existe un antecedente en la empresa INCOLPA LTDA, Un ex empleado de la planta realizó el tablero de control que hoy existe en la extrusora de polietileno de alta y baja densidad, número cuatro (4), pero no realizó los planos correspondientes al tablero de control, además la empresa consideró que este tablero de control no trabaja en las mejores condiciones, ya que posee algunas falencias en la seguridad porque la estructura de la maquina es metálica y el tablero se encuentra sobre esta sin ningún tipo de aislamiento, se desperdicia mucho material en el arranque y calibración por el mismo motivo de tener que desplazarse a diferentes lugares donde estén los dispositivos, entre otros motivos. Actualmente en el mundo existen empresas dedicadas a la fabricación de extrusoras de polietileno incluyendo los tableros de control de estas, una muestra es la empresa multinacional MACCHI S.p.A que se encuentra ubicada en Estados Unidos, Rusia, India y su sede principal en Italia. En los anexos se presentara información detallada de la empresa.

**Figura 1** Panel de control, Maquina Extrusora de polietileno fabricada por MACCHI S.p.A



Fuente: MACHHI S.p.A. Maquinas extrusora [en linea]. En: SINTEX: HMI. Enero,2014, vol. 1, no. 1, 14 p. [consultado 18 de octubre de 2014]. Disponible en Internet: [http://www.macchi.it/pics/pdf/sintex\\_e.pdf](http://www.macchi.it/pics/pdf/sintex_e.pdf) .

Otra muestra de un gran fabricante es la empresa alemana REIFENHÄUSER GROUP REIFENHÄUSER GMBH & CO. KG MASCHINENFABRIK que realiza este tipo de extrusoras incluidos los tableros de control, En los anexos se presentara información detallada de la empresa.

**Figura 2** Panel de control, Maquina Extrusora de polietileno fabricada por REIFENHÄUSER GROUP REIFENHÄUSER GMBH & CO. KG MASCHINENFABRIK



Fuente: REIFENHÄUSER GROUP REIFENHÄUSER GMBH & CO. KG MASCHINENFABRIK. Maquinas extrusora [en linea]. En: EVOLUTION: HMI. Junio,2012, vol. 3, no. 1, 25 p. [consultado 20 de enero de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.reifenhauser-kiefel.com/en/pages/evolution>.

De igual manera con la misma calidad de productos y grandeza en el mundo está la empresa alemana WINDMÖLLER & HÖLSCHER que cuenta con varios tipos de extrusoras y en estas incluyen el tablero de control fabricado por ellos mismos, En los anexos se presentara información detallada de la empresa.

**Figura 3** Panel de control, Maquina Extrusora de polietileno fabricada por WINDMÖLLER & HÖLSCHER



Fuente: WINDMÖLLER & HÖLSCHER. Maquinas extrusoras [en linea]. En: VAREX II: HMI. Mayo ,2013, vol. 1, no. 1, 5 p. [consultado 20 de enero de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.wuh-lengerich.de/es/extrusion/elaboracion-de-peliculas/lineas-para-el-soplado-de-peliculas/varex-ii/> .

## **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La máquina extrusora de polietileno de alta y baja densidad número 4 está compuesta básicamente por lo siguiente:

- siete zonas de resistencias
- un motor principal que mueve el husillo sin fin.
- un motor que mueve los rodillos de embobinado
- un motor en la parte superior que hala la película ya extrusada
- Una turbina
- dos pistones para dar tensión a los rodillos
- un motor elevador de la torre

Cada una de las zonas de resistencias tiene una temperatura diferente a las demás, por lo tanto tiene un control diferente para cada zona, la función de cada zona es mantener la temperatura establecida por el operario sin estar por encima o por abajo del setpoint establecido (existe un rango admisible, pero la idea es que este sea mínimo) estas resistencias funcionan a un voltaje de 220Vac monofásico y tienen un consumo de corriente de 10 a 20A dependiendo de la zona.

Los motores deben estar en la capacidad de variar su velocidad dependiendo de la bolsa que se esté produciendo y del tipo de materia prima que esta bolsa necesite para su producción, por lo tanto cada uno está controlado por un variador de velocidad.

La turbina permite controlar el espesor de la bolsa y se controla manualmente tapando la entrada de aire de está.

Los pistones cumplen el trabajo de juntar los rodillos para generar tensión en la etapa donde la bolsa tubular se enrolla.

El motor elevador de la torre permite como su nombre lo dice elevar la torre para permitirle enfriar la bolsa tubular cuando esta ya está extrusada, sin embargo esta ya se encuentra en una posición fija y no requiere ser cambiada de posición.

Mencionado lo anterior es importante resaltar que aunque en el momento esto funciona de una forma aceptable para la empresa, el tablero de control se encuentra en muy mal estado debido a que este tablero ha funcionado con la misma tecnología desde hace más de 10 años y a lo largo de este tiempo se han tomado decisiones para solucionar problemas que la máquina presenta pero no de la manera correcta, además estos cambios no han sido documentados y algunos de los componentes que están dañados no han sido retirados de este, en este orden de ideas cualquier fallo que está presente es de gran dificultad encontrar cual es el componente que está generando el fallo, ya que la persona que siempre realizo los cambios se retiró de la empresa sin dejar documentado ningún reporte de los cambios de la máquina extrusora.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Para la empresa INCOLPA LTDA es importante realizar una actualización de este tablero de control ya que a partir de esta actualización estarán agregando un componente tecnológico a la extrusora la cual estará completamente documentada y menos propensa a fallos; es por eso que la pregunta que este proyecto pretende resolver viene relacionada con:

¿Qué beneficios tendría INCOLPA LTDA si se desarrolla el diseño del sistema de control para una máquina extrusora de polietileno de alta y baja densidad para fabricar películas de polietileno número 4?

## JUSTIFICACIÓN

La propuesta presentada busca rediseñar el tablero de control de la máquina extrusora de polietileno de alta y baja densidad que presenta problemas de diseño ya que este fue acondicionado y modificado para que funcione pero no en las mejores condiciones, adicionalmente por fuera de este se encuentran algunos dispositivos distribuidos por toda la máquina que es de gran envergadura, por lo tanto es muy importante para la empresa INCOLPA LTDA realizar una mejora en el tablero de control.

Con el desarrollo de la propuesta veremos un sistema electrónico que mejorará en gran medida el funcionamiento del tablero de control, esto generará un mayor control por parte del operario en cada proceso ya que todo lo necesario para manipular la máquina estará unificado en un mismo panel, haciendo que menos plástico sea extrusado en el proceso de calibración o arranque de la máquina, por otra parte los acondicionamientos y modificaciones que se han hecho a este tablero no han tenido en cuenta la seguridad que se le debe garantizar al operario generando un problema para la empresa.

Pero el mayor problema que es que al no encontrarse documentación, planos eléctricos o algún documento que de una u otra manera de orientación de los componentes funcionales que se encuentran trabajando en el momento, cualquier sea el fallo que esta máquina presente ser de gran dificultad encontrar cual es la falla y dar una rápida solución del problema, pero el desarrollo de la propuesta serán considerados. Razones que verifican que la propuesta es además económicamente justificable.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

Diseñar un sistema de control para la máquina extrusora de polietileno de alta y baja densidad.

#### **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar la caracterización eléctrica de cada uno de los componentes del tablero de control de la extrusora de polietileno de alta y baja densidad.
- Diseñar un prototipo del sistema de control actualizado incluyendo las siete zonas que controla, sus resistencias, control del motor principal, control de turbina, control de la torre, el variador de velocidad del rodillo girador, sistema embobinador, etc.
- Identificar las normas que rigen a este tipo de sistemas de control.
- Realizar una estimación del valor a invertir por la empresa en la implementación del nuevo diseño.
- Realizar manuales y planos eléctricos del sistema de control.

## MARCO DE REFERENCIA

### 1.4 MARCO TEORICO

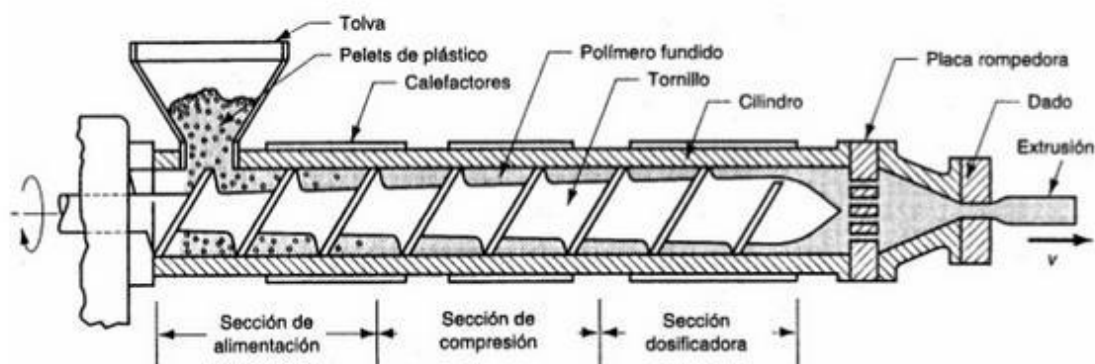
**1.4.1 Extrusión.** La extrusión es uno de procedimientos básicos para el procesamiento de polímeros, el cual consiste en forzar un polímero o material fundido, por medio de presión, a través de un dado o boquilla.<sup>2</sup> Mediante este procedimiento se generan productos de formas continuas como: tuberías, láminas, películas y filamentos; también pueden realizarse recubrimientos de cables o coberturas superficies de papel o tela con una fina capa de polímero. Este proceso también es usado para la obtención de los gránulos, que posteriormente se utilizan durante los diferentes procesos de procesamiento de polímeros, y para el mezclado del polímero virgen con los aditivos necesarios para su procesamiento. Este proceso se realiza con un equipo conocido como extrusora, la cual es una máquina versátil capaz de producir secciones continuas de material polimérico. El tipo de extrusoras para cada proceso depende del material y las condiciones de procesamiento requeridas; el tipo de extrusora más conocido es la mono tornillo ya que es más sencilla y de menor costo. Este tipo de extrusora posee una tolva donde es alimentado el material en forma de gránulos, luego pasa a los canales del tornillo donde, debido a la rotación y la temperatura que éste posee, es empujado hacia delante promoviendo su fusión. Una vez fundido, el material es obligado a pasar a través de un plato rompedor, el cual convierte el flujo rotacional del fundido en un flujo lineal y actúa como filtro eliminando restos de material no fundido o degradado. Finalmente, el material pasa por una boquilla la cual da la forma final al extruido.

---

<sup>2</sup> MORTON, Jones. Técnicas de Extrusión: Procesamiento de Plásticos. México: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 1993. 099p.



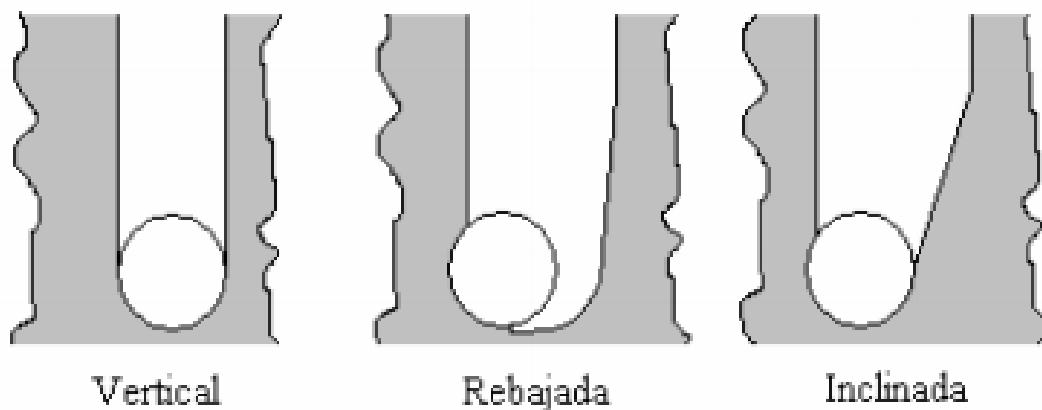
**Figura 4 Extrusora**



Fuente: MORTON, Jones. Técnicas de Extrusión: Procesamiento de Plásticos. México: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 1993. 105p.

**1.4.2 Proceso de Extrusión y Elementos constituyentes** La tolva es la entrada de la alimentación, es decir, es la zona a través de la cual el termoplástico entra al tornillo, por lo cual debe abarcar una zona del tornillo aproximadamente igual al diámetro de éste y su sección transversal puede ser circular o rectangular dependiendo del diseño de la misma. El diseño a usar depende de las características del material (Ver figura 5); si se va a extruir un elastómero, el cual es agregado en forma de bandas, el diseño ideal es el rebajado; mientras que para los termoplásticos son ideales el vertical o inclinado, ya que éstos pueden comenzar a fundir y unirse entre sí o con el borde del tornillo lo cual podría generar un tapón de material en la tolva.

**Figura 5 Diseños de la tolva de alimentación**



Fuente: MORTON, Jones. Técnicas de Extrusión: Procesamiento de Plásticos. México: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 1993. 105p.

Luego de la tolva está el cilindro, el cual es el cuerpo principal de la extrusora y es donde se encuentra alojado el tornillo. El cilindro, además del tornillo, proporciona una superficie de fricción para la fusión del polímero, por lo cual la presencia de desgaste mecánico y la corrosión que se generan durante el proceso de extrusión pueden causar variaciones de las dimensiones del cilindro provocando problemas durante el proceso como: mala fusión del polímero o degradación del mismo.

El cabezal de la extrusora se encuentra situado entre el cilindro y la boquilla.

Esta pieza de la extrusora permite cambiar con mayor facilidad el plato rompedor y sin necesidad de desmontar la boquilla. El cabezal debe poseer perfiles de ángulo que faciliten en la mayor cantidad posible el flujo de material a la boquilla, ya que al aumentar la viscosidad del fundido más agudo deberá ser el ángulo para poder adaptarlo a las líneas de flujo del polímero.

Entre el extremo del cilindro y el cabezal se encuentra el plato rompedor, el cual está conformado por un plato grueso de acero el cual posee una serie de perforaciones colocadas uniformemente en toda la superficie. El diseño del plato rompedor, junto con el del cabezal, debe evitar la acumulación de material en algunas zonas para así evitar la degradación del mismo. En esta zona también se colocan mallas, las cuales junto con el plato rompedor generan un gradiente de presión a lo largo del tornillo, además actúan como filtros evitando el paso de partículas degradadas o sin fundir hacia el producto final y como rompedores del flujo radial del polímero.

El tornillo es una de las piezas más importantes que conforma la extrusora y su diseño no es único, ya que sus dimensiones y características deben variar según el material que se va a procesar. El tornillo tiene como función transportar el material desde la tolva hacia la boquilla mediante una rotación uniforme la cual genera fricción y temperatura sobre el polímero promoviendo su fusión y permitiendo el paso del mismo a través de la boquilla con una velocidad uniforme. El tornillo puede dividirse en tres zonas que explican el comportamiento del material dentro del mismo, las cuales son: zona de alimentación, zona de compresión y zona de dosificación que se encuentran como se indica en la figura 6

**Figura 6** Zonas características del tornillo.



Fuente: MORTON, Jones. Técnicas de Extrusión: Procesamiento de Plásticos. México: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 1993. 107p.

La primera zona es la conocida como zona de alimentación, en la cual el polímero es precalentado y transportado hacia la siguiente zona. En esta zona la profundidad del canal del tornillo es constante y su longitud debe garantizar una correcta alimentación, es decir que ésta no sea ni en exceso ni limitada.

Por otra parte, existen otros factores que deben ser tomados en cuenta al estudiar esta zona, los cuales son: la fricción del material con las paredes del tornillo, la cual permite el movimiento del material a través del tornillo, y la forma de las partículas que se alimentan en la tolva.

Al finalizar la zona de alimentación se encuentra la zona de compresión o zona de plastificación; la cual es una zona de transición donde coexisten el material sólido y el líquido.

En esta zona el diámetro del tornillo aumenta linealmente hasta llegar al diámetro requerido en la zona de dosificación lo cual permite expulsar el aire atrapado entre los granos de polímero, mejorar la transferencia de calor y compensar el cambio de densidad que ocurre en el material debido a la fusión del mismo.

Al final del tornillo se encuentra la zona de dosificación, cuya función es homogeneizar el material fundido y así suministrar a la boquilla un material completamente homogéneo con temperatura y presión constante.

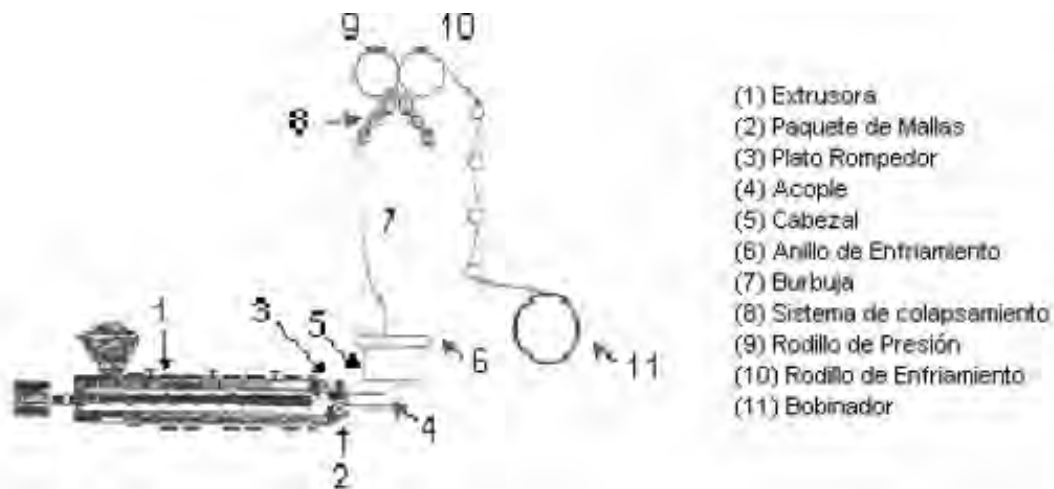
En esta zona el diámetro del tornillo se mantiene constante y con una profundidad bastante pequeña lo cual permite que el material pase con mayor facilidad a través de la boquilla.

**1.4.3 Extrusión de película tubular** El proceso de extrusión de película tubular ofrece una eficiencia óptima además de otras ventajas como: variabilidad en el ancho y espesor de la película, y excelentes propiedades mecánicas producto de la bio-orientación que se le da al material.

Este proceso consiste en hacer pasar el polímero fundido a través de un cabezal circular de donde se deja salir una corriente de aire la cual permite la formación de una burbuja que luego se enfría y se colapsa. Generalmente la burbuja es extrudida en dirección vertical hacia arriba, aunque existen maquinarias que lo hacen hacia abajo.

Un extrusor de película tubular, como se puede observar en la figura 7, consta de varias partes: extrusora, cabezal, rodillos de presión, bobinador, anillo de enfriamiento, un sistema de colapsamiento y un rodillo de enfriamiento, las cuales poseen diferentes funciones por lo cual es de suma importancia el correcto diseño de los mismos.

**Figura 7** *Proceso de fabricación de película tubular*



Fuente: MORTON, Jones. Técnicas de Extrusión: Procesamiento de Plásticos. México: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 1993. 108p.

El cabezal es la zona donde se forma la burbuja de polímero y consta de dos partes, el distribuidor de flujo y la boquilla para este tipo de extrusión posee un orificio anular entre un mandril de centro cónico y un anillo exterior ajustable, el cual permite obtener películas de diferentes anchos y espesores. Estas piezas deben estar perfectamente alineadas para evitar problemas de variación de flujo y de espesor.

Los cabezales de alimentación axial pueden ser de dos tipos según el distribuidor de flujo que poseen: de tipo patas de araña o de tipo espiral. El distribuidor de flujo tipo patas de araña (Ver figura 8) es el más usado en la industria y se le da ese nombre debido al anillo de soporte con elementos radiales que conectan el mandril con el cuerpo del cabezal. Este anillo divide el flujo por poco tiempo lo cual origina líneas de soldadura en la película, pero al poseer una alimentación axial se 20 Favorece una distribución uniforme del fundido en la salida del cabezal. Este tipo de cabezal es usado cuando se requiere una tolerancia estrecha en el espesor de la película, aunque la presencia de altas fuerzas axiales y cargas asociadas con el mandril limitan el tamaño de cabezal a usar.

**Figura 8** Cabezal de alimentación lateral

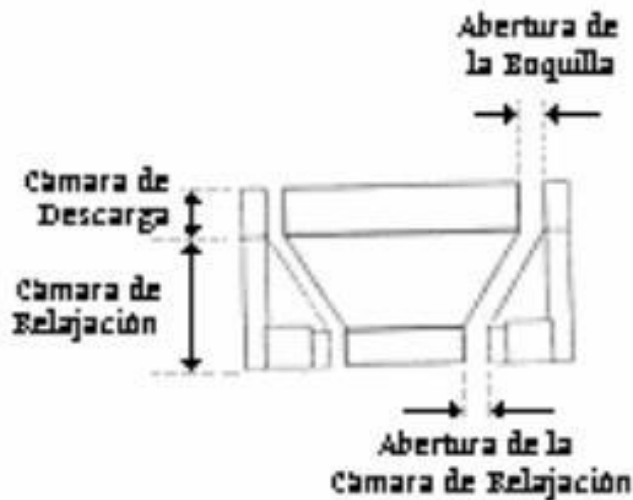


Fuente: MORTON, Jones. Técnicas de Extrusión: Procesamiento de Plásticos. México: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 1993. 109p.

Después del distribuidor de flujo, el polímero fundido pasa a través de la boquilla donde toma la conformación final del perfil anular. Esta zona debe garantizar un volumen y una velocidad de flujo uniforme del material.

La boquilla posee dos secciones claramente definidas como se puede observar en la figura 9. La cámara de relajación desacelera el material aumentando el tiempo de residencia del mismo en la boquilla, esto permite al polímero relajar en mayor cantidad todos los esfuerzos residuales a los cuales fue sometido durante su paso por el distribuidor de flujo. La sección restante se conoce como la cámara de descarga la cual le da el perfil tubular al polímero fundido.

**Figura 9** Secciones de una boquilla de extrusión de Película Tubular.



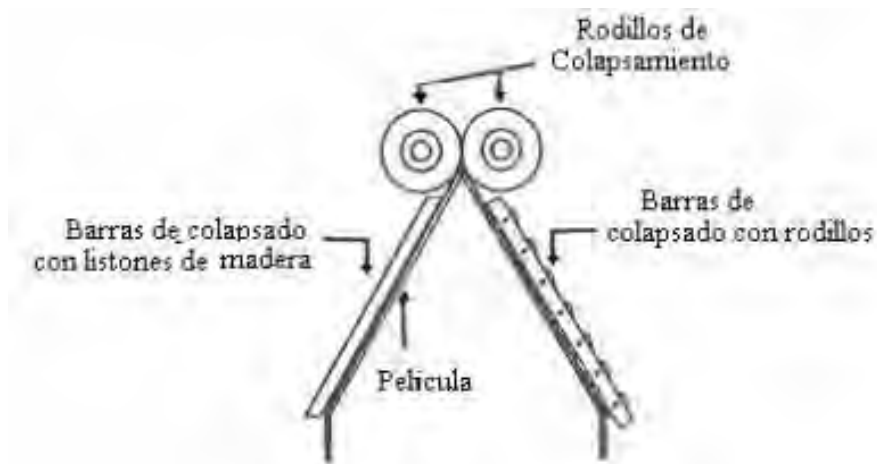
Fuente: MORTON, Jones. Técnicas de Extrusión: Procesamiento de Plásticos. México: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 1993. 110p.

Al salir de la boquilla el fundido posee un perfil tubular y altas temperaturas por lo cual debe ser enfriado rápidamente para así transmitirle estabilidad a la burbuja. Este enfriamiento se da mediante corrientes de aire que chocan en las paredes de la burbuja, las cuales a su vez proporcionan la deformación necesaria para obtener las dimensiones deseadas de la película. Para este proceso se utilizan sistemas conocidos con sistemas de enfriamiento, los cuales tienen la función de llevar el material fundido al estado sólido, estabilizar a la burbuja en diámetro y forma circular, reducir la altura de la burbuja, proporcionar claridad a la película deteniendo la cristalización del polímero y mejorar la productividad.

Para mantener la estabilidad de la burbuja también se usan sistemas de estabilización, además de los sistemas de enfriamiento, estos son accesorios que se colocan después del anillo de enfriamiento y se encargan de impedir los movimientos laterales de la burbuja, entre estos se encuentran: las barras horizontales, las cestas estabilizadoras y los iris estabilizadores, los cuales son adaptables según el diámetro de la burbuja.

Una vez enfriada la burbuja se realiza el colapsamiento de la misma, el cual es un proceso que consiste en transformar el perfil tubular de la burbuja en un perfil plano y para ello se usa un sistema de colapsamiento con una longitud de 2 a 3 veces el ancho de la película colapsada, el cual está conformado por barras de colapsado y una serie de rodillos conocidos como calandra. Las barras de colapsado están constituidas por dos o más superficies angulares en forma de cuña las cuales generalmente están construidas en madera o se forman a través de un conjunto de rodillos como se puede observar en la figura 10.

**Figura 10** Sistema de colapsamiento y halado de la burbuja



Fuente: MORTON, Jones. Técnicas de Extrusión: Procesamiento de Plásticos. México: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 1993. 111p.

Una vez colapsada la burbuja se obtienen dos capas de película, las cuales son embobinadas de manera diferente según el uso que se le vaya a dar. Si se desea como producto final una película tubular, la película una vez colapsada pasa a ser embobinada. Mientras que si se desea una película plana, la burbuja una vez colapsada es cortada del ancho deseado, luego separada en ambas capas y por último embobinan por separado.

**1.4.4 Tratamiento corona** El efecto corona es un fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor. Dado que los conductores suelen ser de sección circular, el halo adopta una forma de corona, de ahí el nombre del fenómeno.

**Figura 11** Descarga corona



Fuente: ACEDO, Jose. Instrumentación y control avanzado de procesos. Santo Domingo: Ediciones Díaz de Santos, 2006. 609 p.

El efecto corona está causado por la ionización del aire circundante al conductor debido a los altos niveles de tensión de la línea. En el momento que las moléculas de aire se ionizan, éstas son capaces de conducir la corriente eléctrica y parte de los electrones que circulan por la línea pasan a circular por el aire. Tal circulación producirá un incremento de temperatura en el gas, que se tornará de un color rojizo para niveles bajos de temperatura, o azulado para niveles altos. La intensidad del efecto corona, por lo tanto, se puede cuantificar según el color del halo, que será rojizo en aquellos casos leves y azulado para los más severos. La descarga va acompañada de un sonido silbante y de olor de ozono. También se generan óxidos nitrosos y si hay humedad apreciable, se produce ácido nitroso. La ruptura dieléctrica del aire que se produce con el efecto corona tiene lugar cuando la intensidad del campo eléctrico alcanza los 3MV/m.

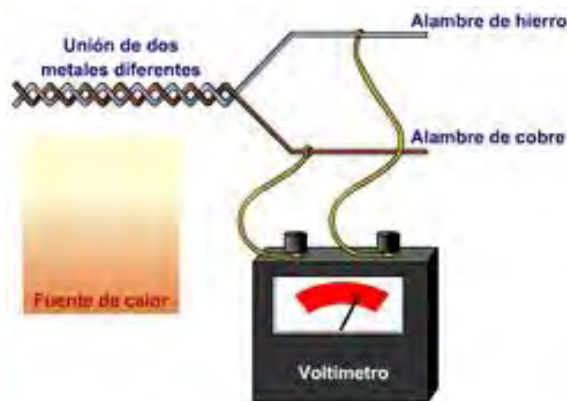


**Figura 12** Tratamiento corona



**1.4.5 Termocuplas** Una termocupla es un dispositivo para la medición de temperatura, basado en efectos termoeléctricos. Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura, que origina una fuerza electromotriz (efecto Seebeck).

**Figura 13** Termocupla



Fuente: SENSOR DE TEMPERATURA [en línea]. Colombia [consultado marzo de 2015] Disponible en Internet:

Thermocouples: a sensor for measuring temperature"., Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE (Volume:8 , Issue: 1 ) Pag 35 – 40

La fuerza electromotriz generada por la termocupla está en función de la diferencia de temperatura entre la unión fría y caliente, pero más específicamente, esta es generada como un resultado de los gradientes de temperatura los cuales existen a lo largo de la longitud de los conductores.

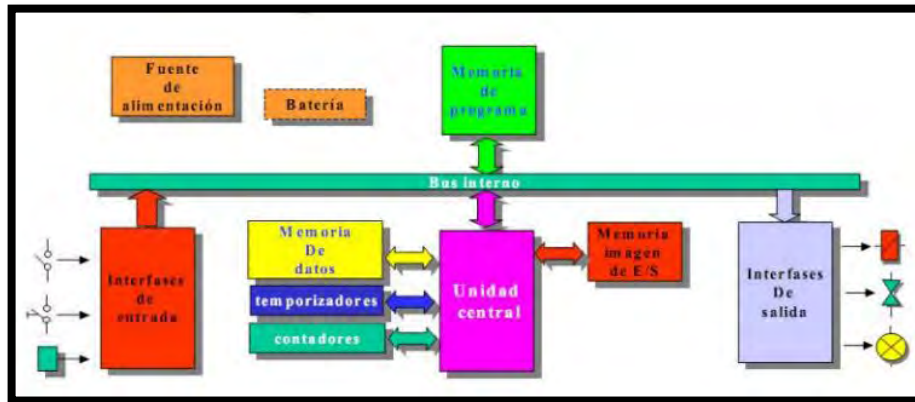
**Figura 14** Tipos de termocuplas

Tipos de termocuplas:

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

**1.4.6 PLC** Un PLC o autómatas programables son sistemas basados en un microprocesador. Sus partes fundamentales son la Unidad Central de Proceso (CPU), la Memoria y el Sistema de Entradas y Salidas (E/S). La CPU se encarga de todo el control interno y externo del controlador lógico programable con la interpretación de las instrucciones del programa.

**Figura 15** Diagrama de arquitectura PLC.



Fuente: elaboración propia

La estructura básica del PLC está constituida por:

- Fuente de alimentación: La función de la fuente de alimentación en un controlador, es suministrar la energía a la CPU y demás tarjetas según la configuración del PLC.
- Unidad de procesamiento central (CPU): Es la parte más compleja e imprescindible del controlador programable, que en otros términos podría considerarse el cerebro del controlador.
- Módulos de entrada digitales o analógicos, a los que se conectan pulsadores, finales de carrera, fotocélulas, detectores, transmisores, entre otros.
- Módulos de salida digitales o analógicos a los que se conectan bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas, elementos finales de control como válvulas, entre otros.

Los Módulos de memorias son dispositivos destinados a guardar información de manera provisional o permanente

Se cuenta con dos tipos de memorias:

- Volátiles (RAM)
- No volátiles (EPROM y EEPROM)

La actuación de las salidas está en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.

A diferencia de la lógica cableada, los elementos tradicionales –relés auxiliares, relés de enclavamiento, temporizadores, contadores– son funciones internas del PLC.

La tarea del usuario está encaminada a la conexión de los sensores y actuadores al PLC y la implementación de la estrategia de control, para el manejo se requiere conocimientos básicos de informática.

El PLC presenta muchas ventajas en relación a la lógica cableada. Esto es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y a las

innovaciones técnicas que surgen constantemente (Estas consideraciones nos obligan a referirnos a las ventajas que proporciona un PLC de tipo medio).

Gama baja: aplicaciones simples, cantidad de entradas y salidas menores a 50:

- TSX nano
- S7-200
- PLC 5
- 

Gama media: aplicaciones de mediana complejidad, cantidad de entradas y salidas menores a 300:

- TSX micro
- S7-300
- SLC 500

Gama alta; aplicaciones complejas, cantidad de entradas y salidas menores a 2000:

- TSX Premium
- S7-1200
- PLC Controllogix 5000

La condición favorable básica que presenta un PLC es el menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

- Un PLC facilita automatizar tareas, ahorrar mano de obra, y los costos finales del proyecto disminuyen.
- Existe posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Presenta menor costo de mano de obra de la instalación.
- Tiene economía de mantenimiento; además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos PLC pueden detectar e indicar averías.
- Presenta la posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo PLC.
- Exige menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso, al quedar reducido el tiempo de cableado.

**1.4.7 INTERFAZ HMI.** La tarea de mantener informado al operador de lo que está sucediendo en alguna parte del proceso productivo la realiza la Interface Humano-Máquina (HMI), la importancia de que exista una buena comunicación entre estos, como parte de un sistema de control de procesos automatizado, radica en que sólo así se podrán analizar las diferentes anomalías que puedan suceder además de ajustar los diversos parámetros relacionados al proceso de control.

Una HMI debe contener tanto componentes gráficos como componentes numéricos, además debe utilizar terminología estandarizada y clara para el usuario final. Se recomienda que las variables de proceso, set point y variable de control sean lo más claras posibles para el usuario; asimismo, se debe mantener un registro histórico de las variaciones ocurridas, esto con el fin de estudiar su comportamiento y poder realizar las predicciones respectivas.

Los objetivos principales de una buena HMI son:

- Disminuir la tasa de errores de los operarios gracias a unas presentaciones claras e intuitivas de las fases de control. (optimizar la efectividad del usuario)
- incrementar al máximo la productividad.
- mejorar la calidad y reducir los costos operacionales, de desarrollo y de mantenimiento.
- Reducir los tiempos de aprendizaje del proceso en los nuevos operadores.
- Reducir los costos de rediseño al estandarizar procedimientos.

## METODOLOGIA

La modernización de los procesos es una actividad esencial para la supervivencia y competitividad de la empresa. Existen diferentes estrategias de mejora del proceso de desarrollo de productos, pero la mayor parte de ellas pasan por potenciar el papel del diseño y la disminución de la duración del ciclo de desarrollo del producto. De esta forma se mejora la flexibilidad de la empresa para adaptarse a las diferentes necesidades.

En el diseño y ejecución de proyectos industriales existen metodologías de trabajo, para el “DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA UNA MAQUINA EXTRUSORA DE POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD PARA FABRICAR PELÍCULAS DE POLIETILENO, PARA LA EMPRESA INCOLPA LTDA.” se ha empleado la metodología de DESCENDENTE -TOP DOWN de optimización del diseño, que permite un diseño simultaneo de sistemas mecánicos, eléctricos y de control.

El proyecto será abordado en cuatro (4) etapas que son las siguientes

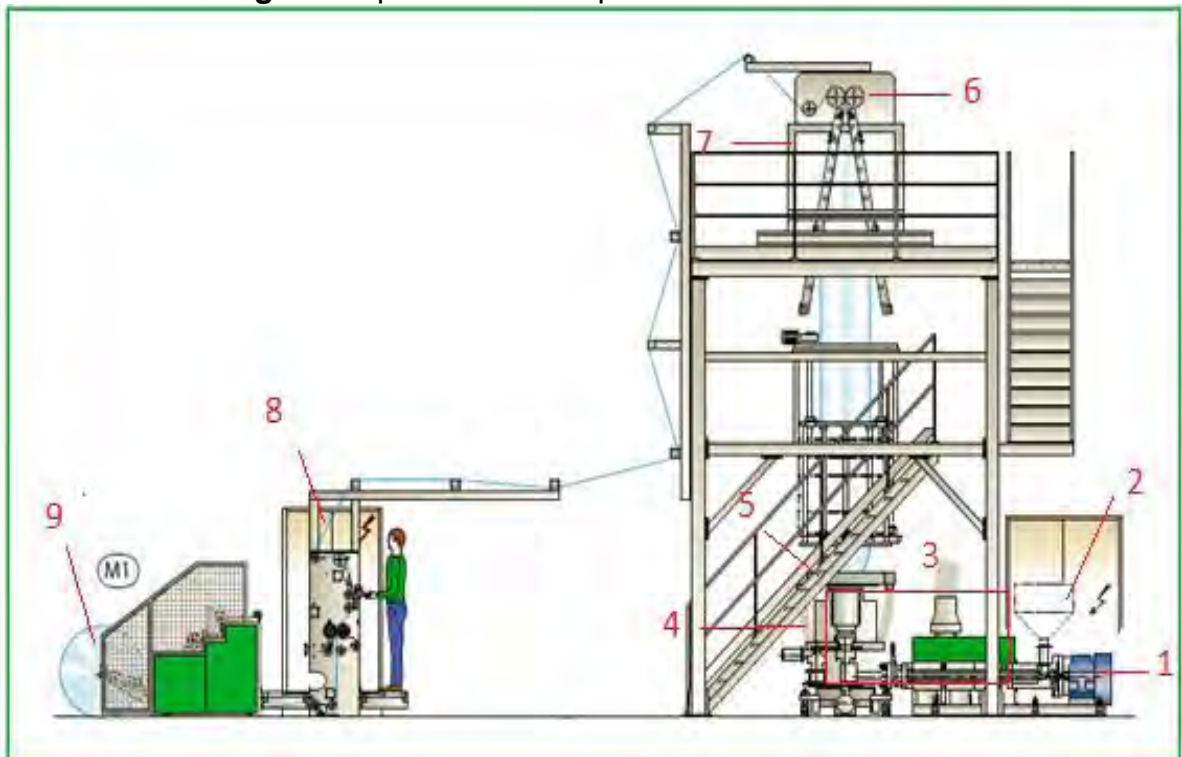
- Etapa de recolección de información y requisitos.
- Etapa de diseño de arquitectural del sistema de control, supervisión y especificaciones.
- Etapa de diseño lógico del sistema de control y supervisión.
- Etapa de selección de componentes.

## DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

### 1.5 Etapa de recolección de información y requisitos.

1.5.1 **Estructura de la máquina.** En la figura 12 se pudo ilustrar el plano de la maquina extrusora de polietileno de alta y baja densidad la cual se encuentra funcionando con un antiguo tablero de control, pero no lo está haciendo de la mejor manera.

**Figura 16** plano de la maquina extrusora numero 4



Fuente: MACHHI S.p.A. Maquinas extrusora [en línea]. En: SINTEX: HMI. Enero,2014, vol. 1, no. 1, 14 p. [consultado 18 de octubre de 2014]. Disponible en Internet: [http://www.macchi.it/pics/pdf/sintex\\_e.pdf](http://www.macchi.it/pics/pdf/sintex_e.pdf) .

1. Motor principal	2. Tolva de alimentación
3. Zona de resistencias	4. Turbina
5. Cabezal	6. Halador
7. Torre	8. Tratador corona
9. Rodillo embobinador	

**1.5.2 Proceso de extrusión** El proceso de extrusión de polietileno es una técnica antigua pero eficiente para realizar dicha labor, este proceso es fue descrito en detalle en el marco teórico de este documento en la página 16, sin embargo a continuación se describirá este proceso de una forma menos técnica diciendo los procedimientos que el operario realiza a lo largo de todo el proceso de extrusión. Inicialmente dependiendo de la orden que el operario reciba por parte del departamento de producción acerca de qué tipo de bolsa tubular será producida el selecciona el tipo de materia prima en forma de pellets como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 17** Polímeros termoplásticos peletizados



Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y el Polietileno de Baja Densidad (PEBD) de estos dos se derivan muchos tipos de polímeros termoplásticos sólidos los cuales son seleccionados dependiendo de la orden recibida.

Estos polímeros pueden ser los siguientes:

- Aislante eléctrico.
- Transparente, opaco o de colores.
- Resistente a las bajas temperaturas.
- Higiénicos.
- Inerte a los ataques de productos químicos.
- Resistentes a la humedad.
- Económico o reutilizado.



Después de haber seleccionado el tipo de materia prima para alimentar la tolva de la extrusora, se lleva la temperatura de las resistencias a la temperatura de operación, este proceso puede durar alrededor de 2 horas antes de dar inicio al proceso de extrusión.

De no llevarse a cabo este proceso de calentamiento podría provocar el rompimiento del tornillo sin fin o husillo, ya que la resistencia que este hace contra la camisa sería muy grande y generaría una gran pérdida para la empresa debido a que la reparación de este tornillo es demasiado costosa.

El operario verifica que los la temperatura en las siete zonas sea la adecuada y procede a encender los motores graduando la velocidad en cada uno dependiendo del grosor que se le quiera dar a la película tubular para las bolsas en conjunto con el flujo de aire de la turbina.

Por último el operario verifica que la película cumple con los requerimientos y enciende el tratador dependiendo si el pedido requiere de un estampado y hace rollos de 50Kg de esta película.

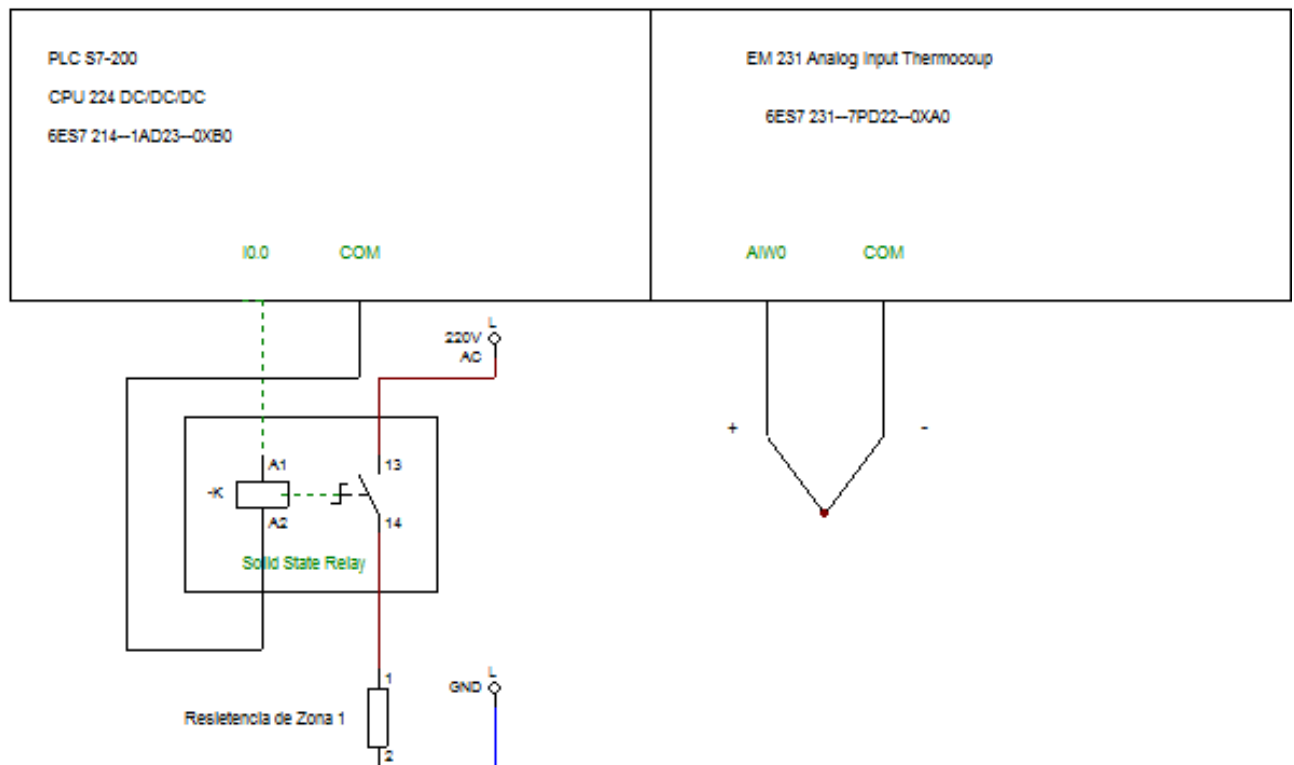
### **1.5.3 Requerimientos Para Sistema De Control Y Supervisión.**

- El sistema debe permitir al operario controlar y monitorear la variable temperatura en cada zona, desde la interfaz HMI de la máquina.
- El sistema debe permitir al operario encender los 3 motores (Principal, halador, rodillos) así como ajustar su velocidad, desde la interfaz HMI de la máquina.
- El sistema de permitir al operario monitorear y controlar el estado de componentes de la máquina como lo son la turbina, control de la torre, tratador, tensión en los rodillos, desde la interfaz HMI de la máquina.
- Diseñar un interfaz, empleando la pantalla HMI de la máquina con un sistema que sea entendible para el operario y que permita supervisar las variables involucradas en la máquina extrusora.
- El sistema debe ejecutar alarmas de precaución que se muestren en la pantalla HMI y también en el display que tiene la máquina.

### **1.6 Etapa de diseño arquitectural del sistema de control, supervisión y especificaciones.**

**1.6.1 Sistema de temperatura para cada zona** En la figura número 18 se muestran los planos de conexión del sistema de control de temperatura para una zona la cual tiene como sensor para medir la temperatura una termocupla de tipo J de calibre 4 con una sensibilidad de 5.485mV/100°C y elemento final de control una resistencia que es accionada mediante un relé de estado sólido, esto mismo sucede con las otra 6 zonas restantes.

**Figura 18** Plano de conexión de sistema de control para una zona



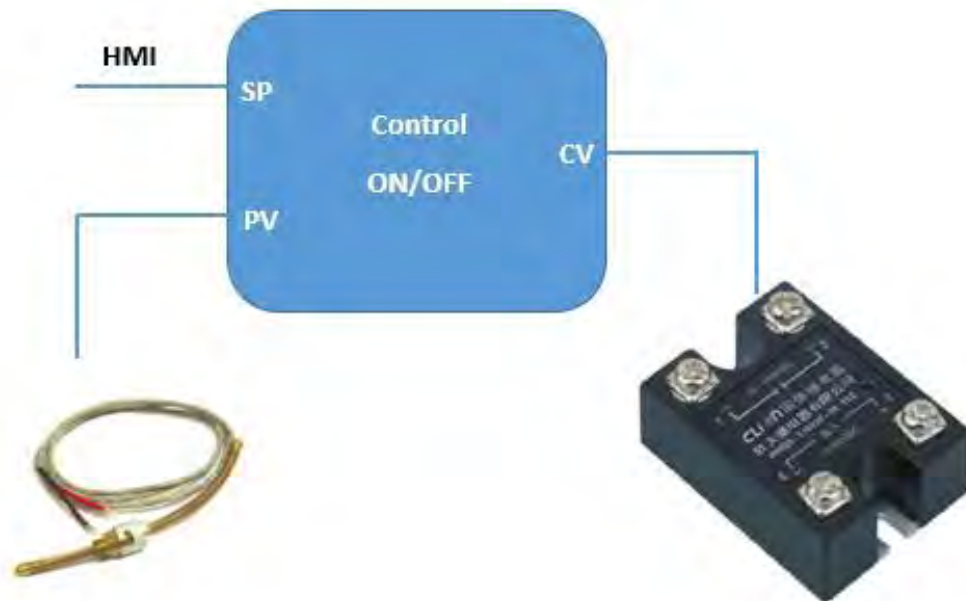
Fuente: elaboración propia

La estrategia de control planteada para el desarrollo del sistema es un controlador ON/OFF ya que la variable que se quiere controlar es la temperatura, y cual quiera sea la acción de manipulación a esta variable será muy lenta, por lo tanto esta técnica de control resulta aceptable dentro de los requerimientos de funcionamiento para el proceso de extrusión.

Otra razón por la cual se decidió que esta técnica de control es la apropiada es que el elemento final de control es una resistencia la cual es accionada mediante un relé el cual es todo o nada y las otras técnicas de control como PID, control algebraico, entre otros. Requieren de un elemento final de control el cual sea accionado proporcionalmente a la acción de control.

En la siguiente figura (numero 19) se muestra el esquema del sistema de control.

**Figura 19** Control ON/OFF



Fuente: elaboración propia

La variable de proceso (PV, del inglés Process Value) es la temperatura medida en la zona por la termocupla, la señal de consigna (SP, del inglés Set Point) es el valor de temperatura que nosotros queremos que tenga la unidad y la salida de control (CV, del inglés Control Value) es la acción de control que va a producir la apertura o cierre de relé de estado sólido para aumentar la temperatura en el caso de que este relé se encuentre conmutado o disminuir la temperatura en el caso que se encuentre abierto.

Los dos estados de la acción de control dependerán de si el Set point ingresado en el HMI es mayor que la variable del proceso, a ser esta condición verdadera el controlador ordena el cierre del relé de estado sólido y de ser falsa la acción opuesta.

Además se implementa una interfaz gráfica mediante la cual el operario tendrá un control y supervisión de la temperatura de cada zona.

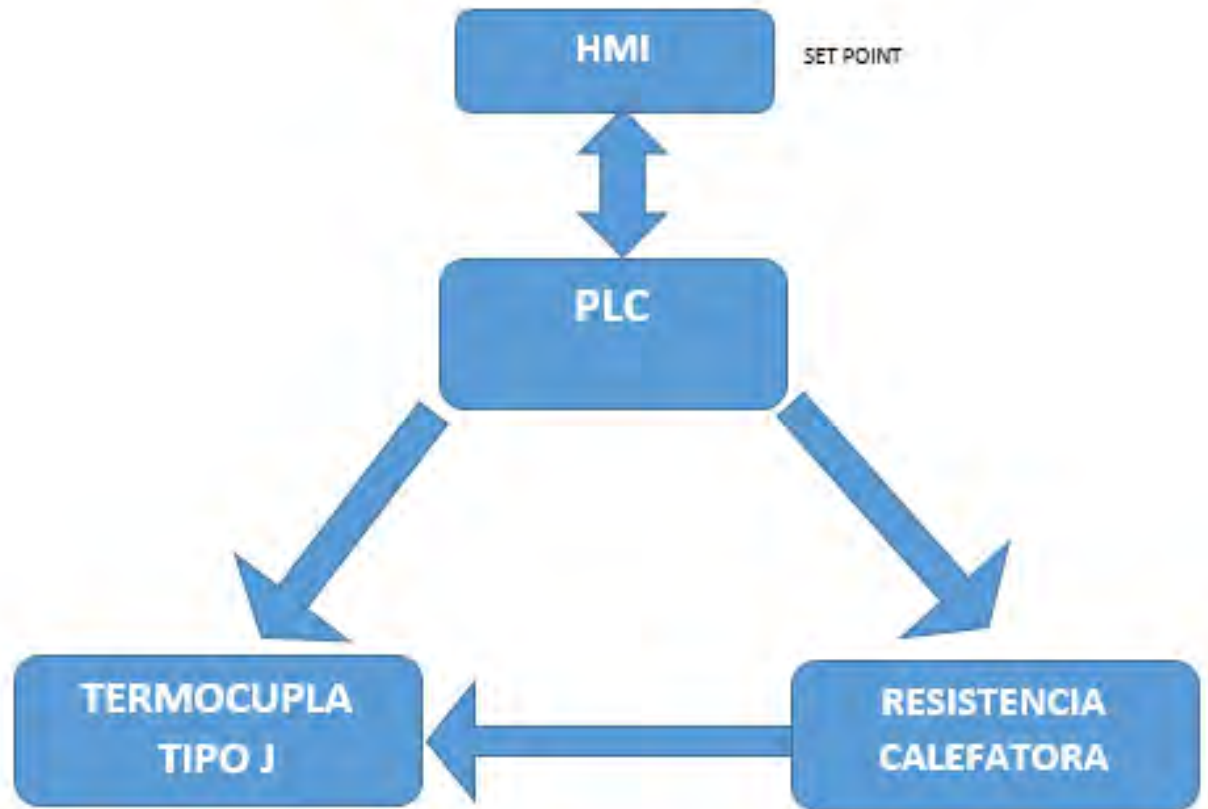
El sistema consiste en diseñar una estrategia de control y una interfaz HMI para que el operario puede tener control del proceso de la variable de temperatura, para el desarrollo de sistema se propone usar el dispositivo lógico de control (PLC), además de una computadora que este comunicada con el PLC por medio del protocolo de comunicación Ethernet.

Requerimientos:

- PLC SIEMENS S7-200 CPU 222 6ES7 214--1BD23--0XB0
- Computador
- 2 Módulo de entradas analógicas EM-231
- 7 Termocuplas tipo J calibre 4
- 7 Relés de estado sólido

### 1.6.2 Diagrama De Bloques De Sistema De Temperatura.

## CONTROL DE TEMPERATURA DE LAS RESISTENCIAS DE CADA ZONA



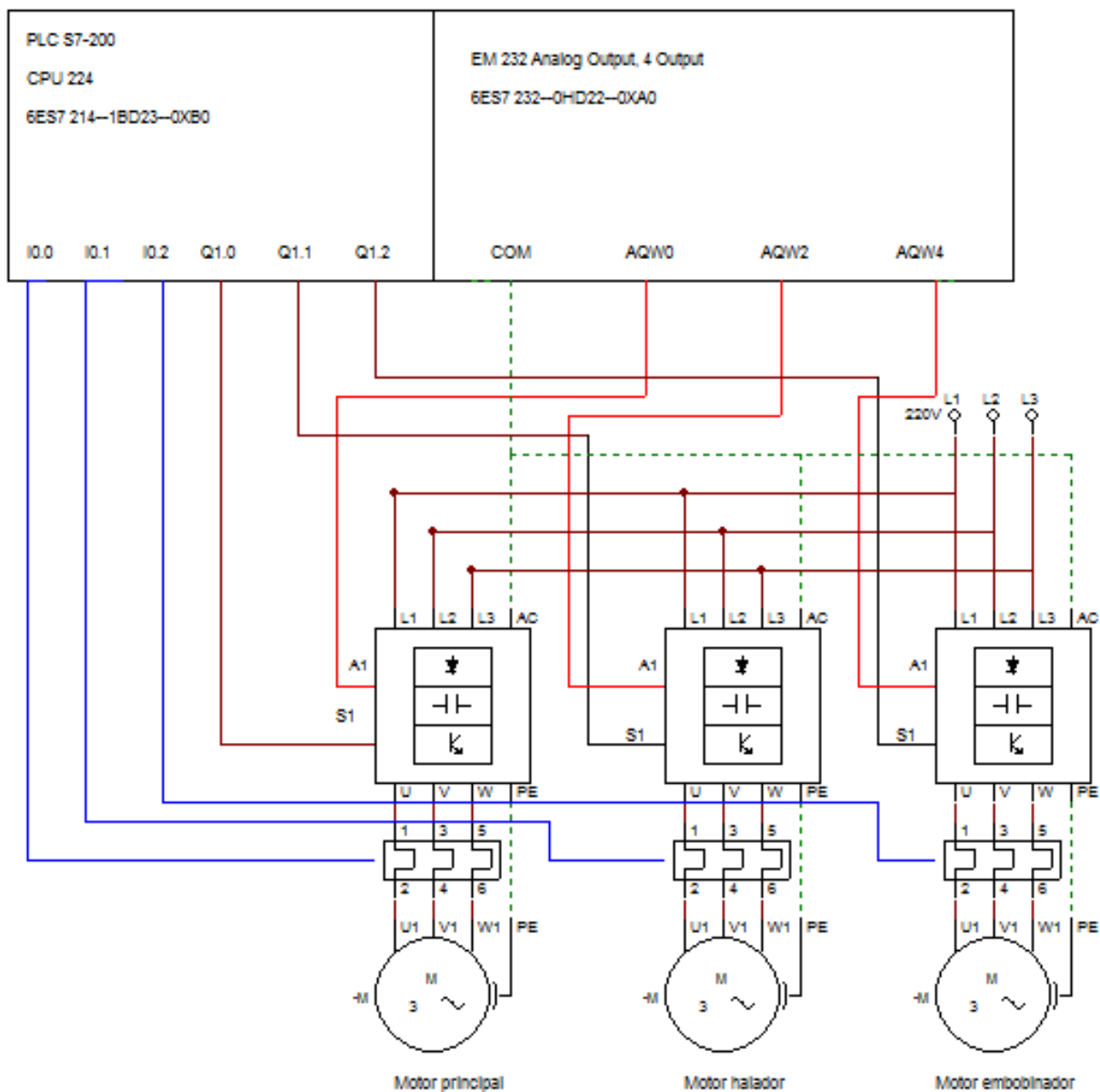
Fuente: elaboración propia

- **HMI:** computadora
- **SENSOR DE TEMPERATURA:** termocupla tipo j
- **PLC:** S7-200

**VARIABLE CONTROLADA:** temperatura °C  
**VARIABLE MEDIDA:** temperatura °C  
**VARIABLE MANIPULADA:** voltaje(V)

**1.6.3 Sistema de velocidad para motores.** En la siguiente figura (número 20) se muestra el diagrama de conexiones para el sistema de velocidad de los motores, esto se hace mediante variadores de velocidad que son los encargados de controlar la velocidad en cada uno de ellos.

**Figura 20** Plano de conexiones para motores



Fuente: elaboración propia

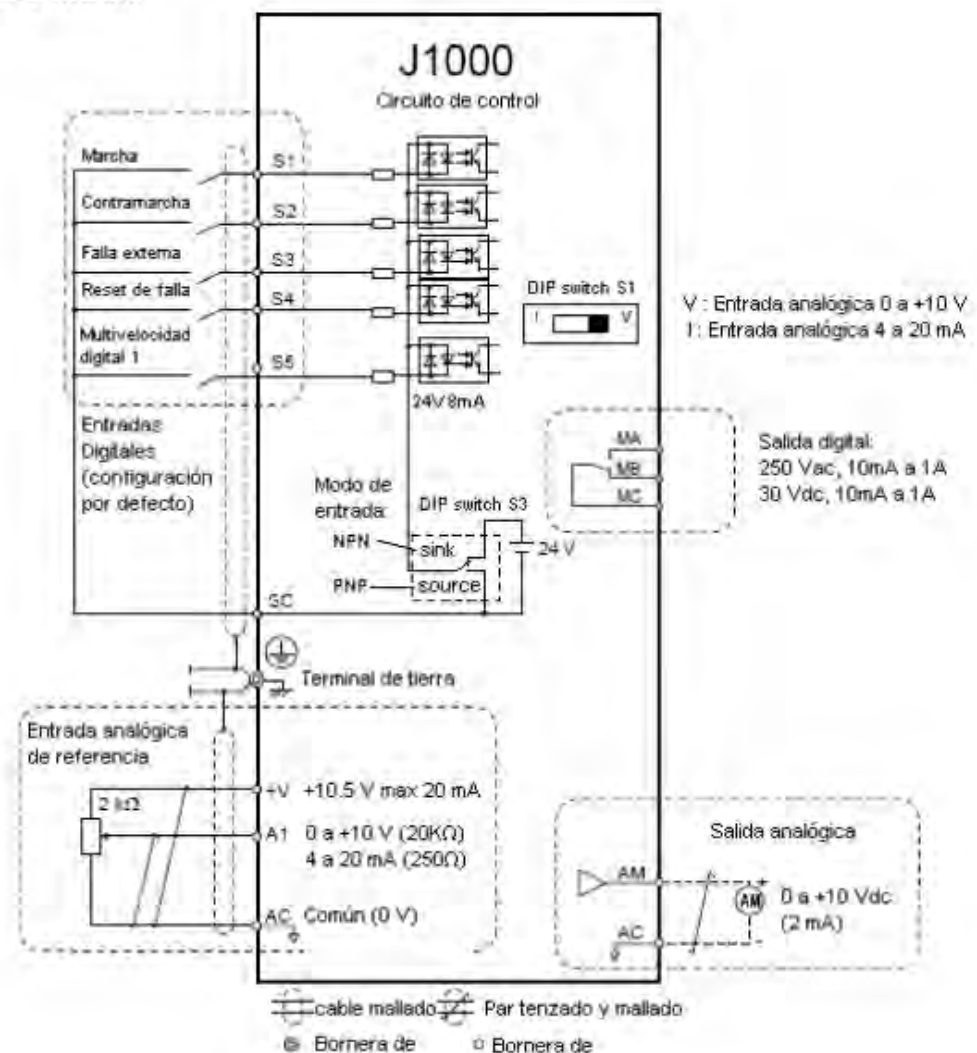
El control para los motores se realizara por medio del variador de velocidad correspondiente a cada motor y el PLC realizara el trabajo de enviarle el valor desde la salida análoga hasta la entrada A1 del variador, los valores que entrega esta salida análoga van de 0 a 10V pero el variador escala este valor para traducirlo a una velocidad de 0 a 60Hz.

También cuenta con un relé térmico que desconectara el motor en caso de sobrecarga y dará aviso que este fallo sucedió.

El PLC por medio de una salida digital ordena al variador a ponerse en marcha por medio de la entrada al variador llamada S1 la cual mientras esta salida no esté activa al motor no estará girando así la velocidad ya esté programada.

**Figura 21** Circuito de control para variadores de velocidad

### Circuito de Control:



Fuente: elaboración propia

Lo mencionado en los anteriores párrafos se explica mejor en la anterior figura (número 21) donde se muestra el circuito de control para uno de los variadores, resaltando que los tres pertenecen al mismo fabricante pero manejan diferentes potencias debido a que el caballaje de los motores son diferentes.

Además se implementa una interfaz gráfica mediante la cual el operario tendrá un control y supervisión de la velocidad de cada motor.

El sistema consiste en diseñar una interfaz HMI para que el operario puede tener control del proceso de la variable de velocidad, para el desarrollo de sistema se propone usar el dispositivo lógico de control (PLC), además de una computadora que este comunicada con el PLC por medio del protocolo de comunicación Ethernet.

Requerimientos:

- PLC SIEMENS S7-200 CPU 222 6ES7 214--1BD23--0XB0
- Modulo Ethernet CP 243--1
- Computador (especificaciones técnicas mínimas en los anexos)
- Módulo de salidas analógicas EM-232(especificaciones técnicas en los anexos)
- 3 variadores de velocidad, uno para cada motor (especificaciones técnicas en los anexos)
- 3 relé térmicos(especificaciones técnicas en los anexos)



#### 1.6.4 Diagrama De Bloques De Sistema De Velocidad de Motores.

### Control de velocidad para motores

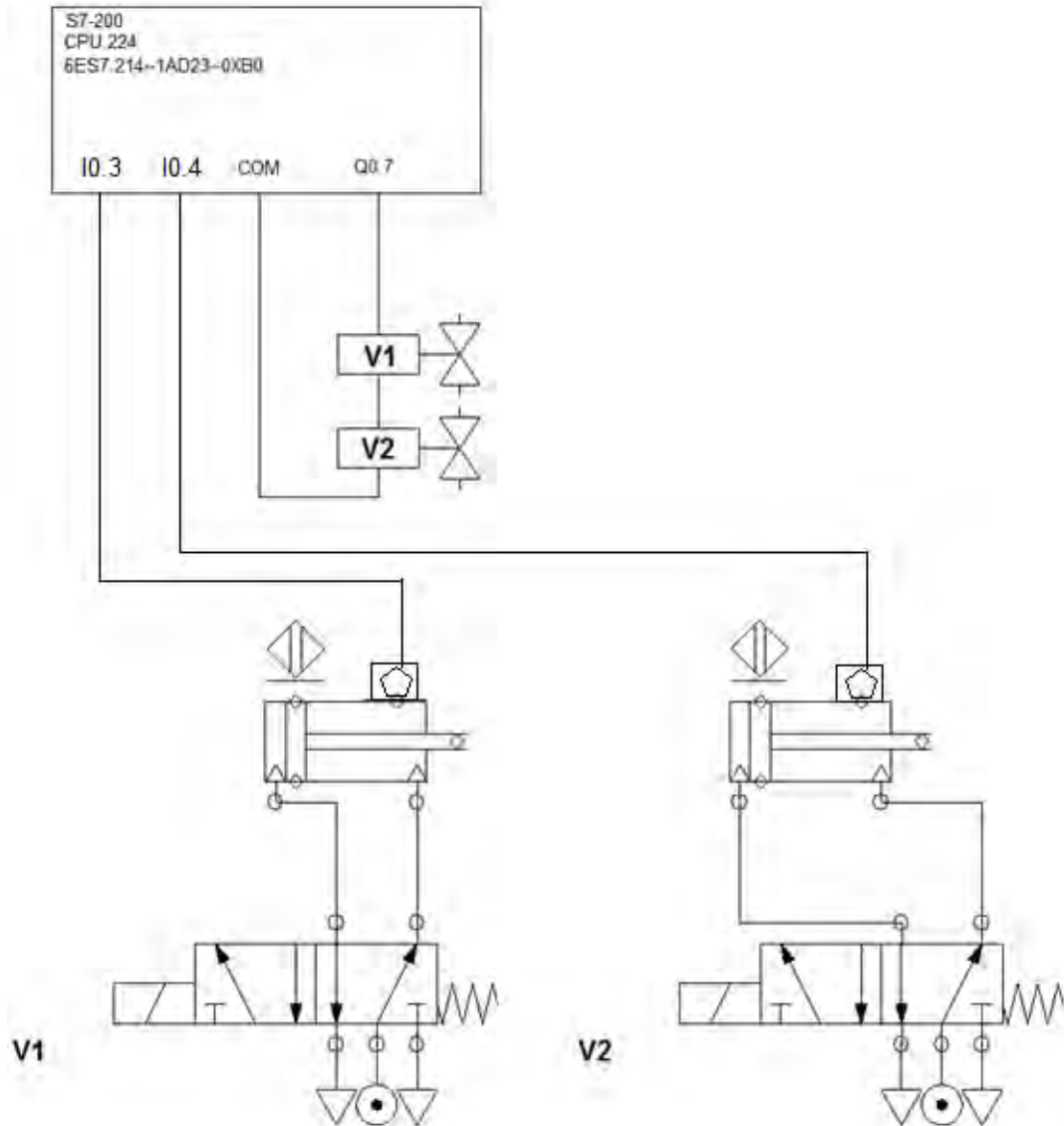


Fuente: elaboración propia

- **HMI:** computadora
- **PLC:** S7-200
- **Variadores:** Yaskawa J100- Yaskawa V1000
- **Motor:** 220Vac Trifásico 10HP,3HP

**1.6.5 Sistema de tensión para rodillo embobinador.** En la siguiente figura (número 22) se muestra el diagrama de conexiones para el sistema de tensión, el cual está compuesto por 2 cilindros de doble efecto y dos válvulas 5/2 monoestables con accionamiento eléctrico y retorno por acción de un muelle, esta válvula tiene 2 escapes a la atmosfera y una alimentación neumática.

**Figura 22** Plano de conexiones para sistema de tensión en rodillos



Fuente: elaboración propia

El circuito encargado del accionamiento de las válvulas es el que se encuentra en la parte superior de la anterior figura, en este se encuentran dos solenoides en serie con la salida Q0.7 del PLC que es el encargado de energizar este par de solenoides.

Los solenoides son los encargados del accionamiento eléctrico de las válvulas 5/2 cuando circula corriente por la rama del circuito encargado del accionamiento haciendo que estas válvulas permitan el paso de aire logrando mover los pistones de posición.

Y los dos sensores electromagnéticos son los encargados de dar aviso de que en el momento de activare la válvula el pistón haya salido, de lo contrario se generara una alerta al sistema.

Además se implementa una interfaz gráfica mediante la cual el operario tendrá un control y supervisión de la tensión en los rodillos embobinadores.

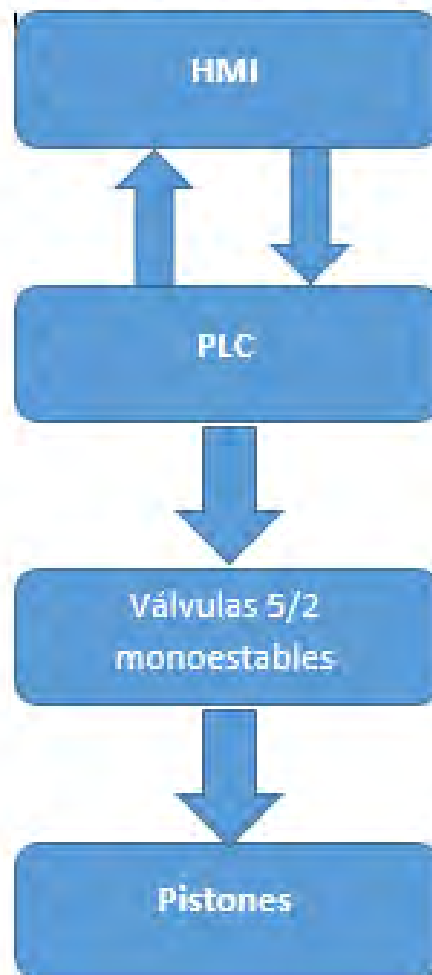
El sistema consiste en diseñar una interfaz HMI para que el operario pueda aplicar tensión en los rodillos embobinadores, para el desarrollo de sistema se propone usar el dispositivo lógico de control (PLC), además de una computadora que este comunicada con el PLC por medio del protocolo de comunicación Ethernet.

Requerimientos:

- PLC SIEMENS S7-200 CPU 222 6ES7 214--1BD23--0XB0
- Modulo Ethernet CP 243--1
- Computador (especificaciones técnicas mínimas en los anexos)
- 2 Válvulas 5/2 monoestables BOSH.
- 2 Pistones de doble efecto de 6 pulgadas BOSH.
- 2 sensores electromagnéticos (especificaciones técnicas mínimas en los anexos)

#### 1.6.6 Diagrama De Bloques De Sistema de Tensión para rodillos

### Sistema de control de tensión para rodillos embobinadores

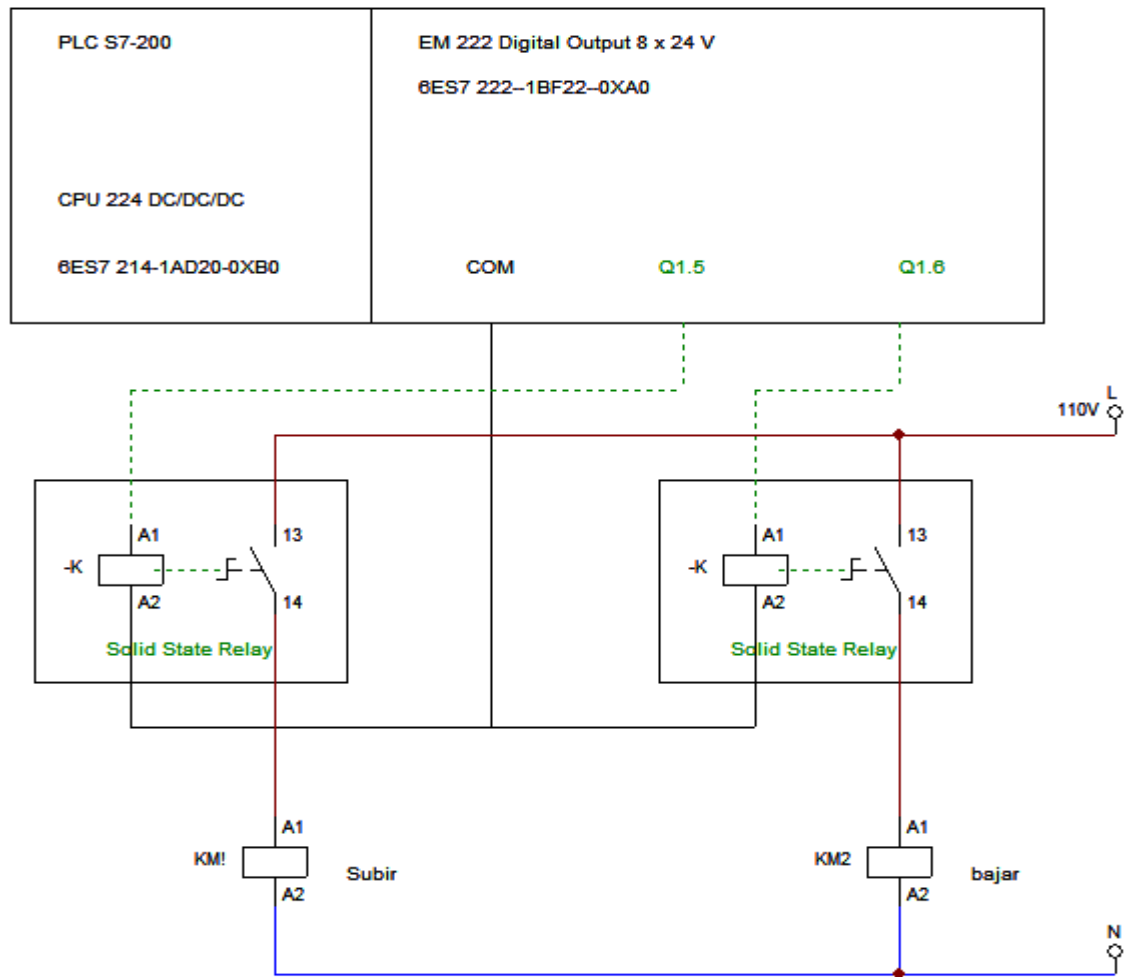


Fuente: elaboración propia

- **HMI:** computadora
- **PLC:** S7-200
- **Válvulas:** 5/2 monoestable BOSH.
- **Pistones:** doble efecto, 5", BOSH.

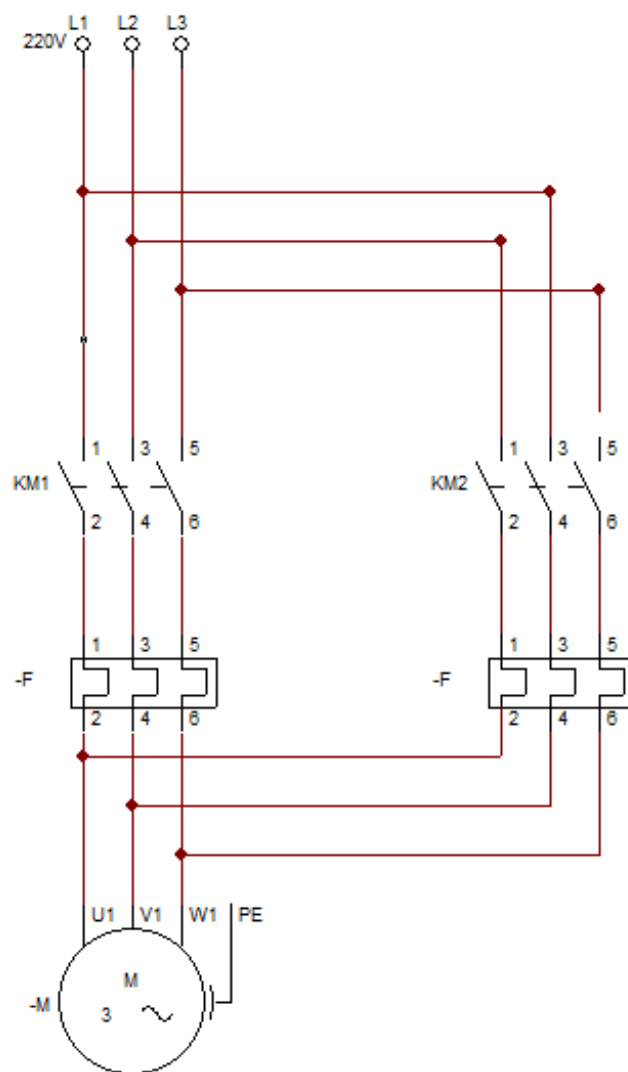
1.6.7 **Sistema de elevación de la torre.** En la siguientes figuras (número 23,24) se muestra el diagrama de control para la elevación o descenso de la torre, esta se hace por medio de dos contactores conectados a un motor trifásico 220Vac de 3 HP, estos son los encargados de invertir el giro de este motor.

**Figura 23** Diagrama de control para la inversión de giro



Fuente: elaboración propia

**Figura 24** Diagrama de fuerza para el sistema inversor de giro



Fuente: elaboración propia

La inversión de giro se logra con el intercambio de al menos 2 líneas mediante la activación de los contactores como se observa en la figura número 24 de diagrama de fuerzas, con esto se logra que el motor gire el tornillo sin fin que sube o baja la torre dependiendo del sentido que giro.

Es importante que en la lógica de activación por ningún motivo ambos contactores estén activos al tiempo ya que podría causar daños en el motor.

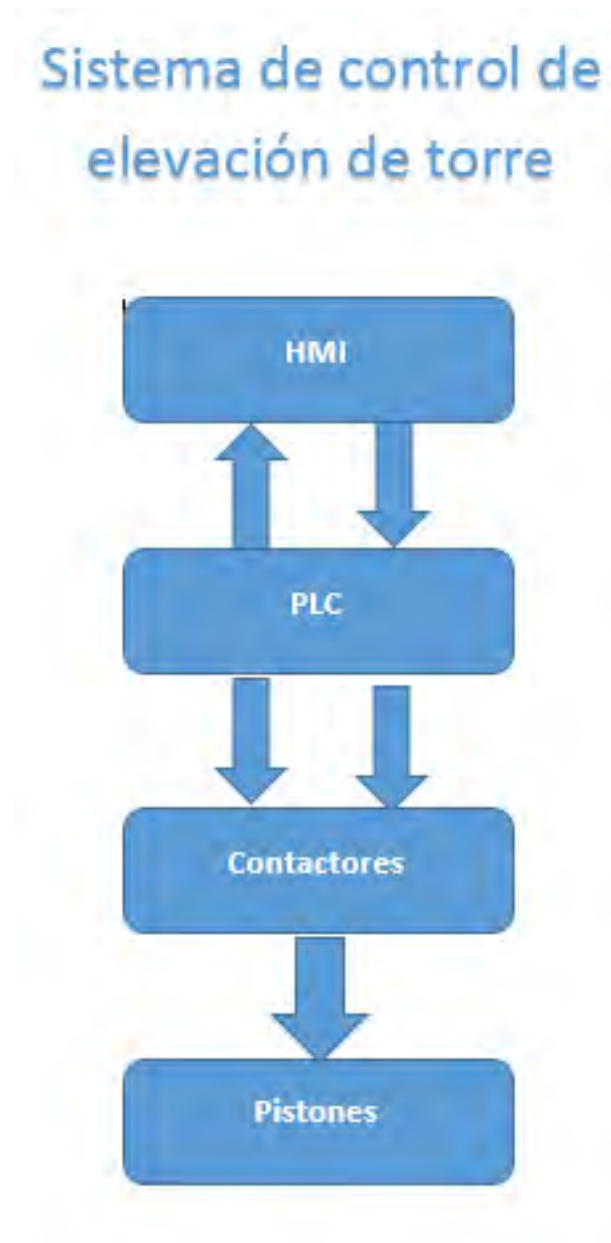
Además se implementa una interfaz gráfica mediante la cual el operario tendrá un control sobre la elevación de la torre.

El sistema consiste en diseñar una interfaz HMI para que el operario pueda subir o bajar la torre dependiendo de la necesidad, para el desarrollo de sistema se propone usar el dispositivo lógico de control (PLC), además de una computadora que este comunicada con el PLC por medio del protocolo de comunicación Ethernet.

Requerimientos:

- PLC SIEMENS S7-200 CPU 222 6ES7 214--1BD23--0XB0
- Modulo Ethernet CP 243--1
- Computador
- 2 Contactores con protección térmica.
- 2 relevos de estado sólido.

#### 1.6.8 Diagrama de bloques del sistema de elevación de torre.

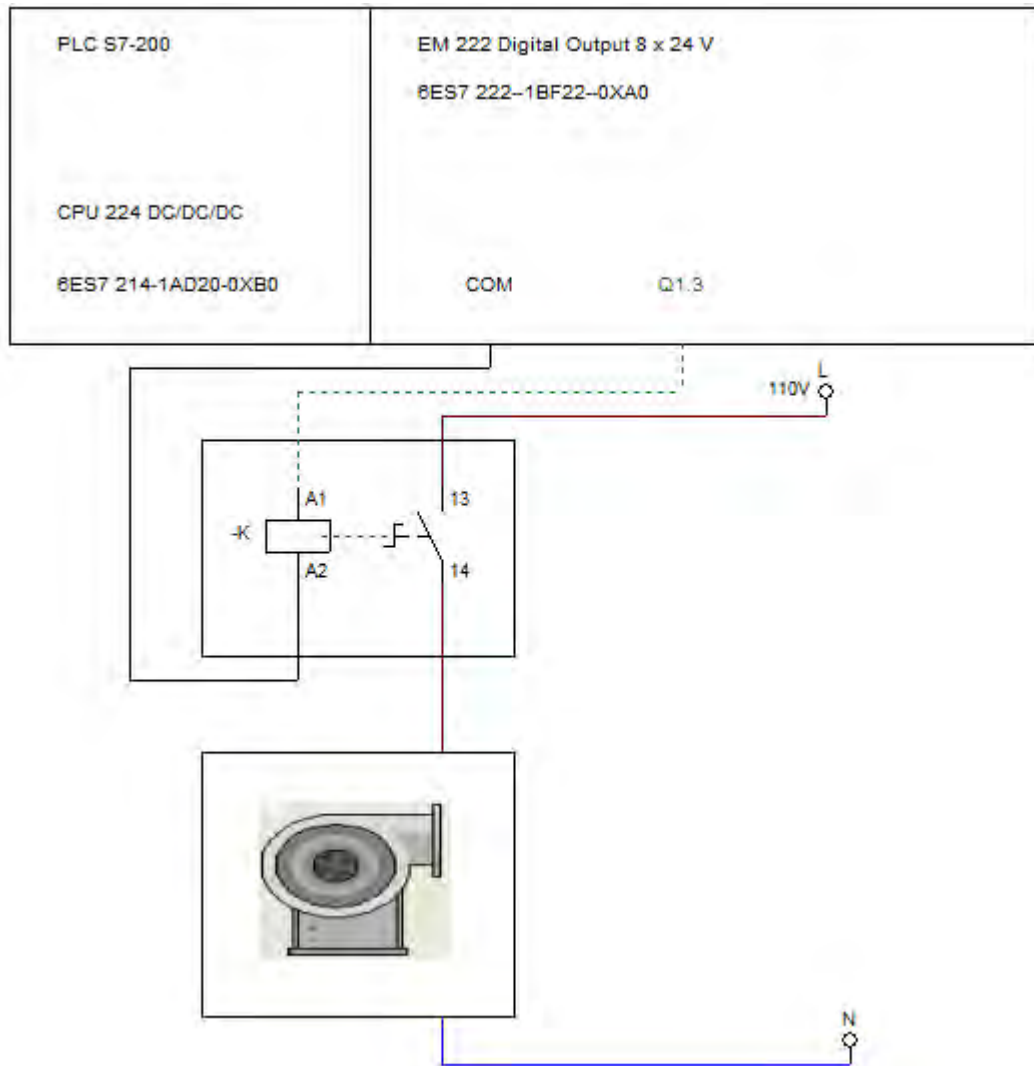


- **HMI:** computadora
- **PLC:** S7-200
- **Contactores:** 24Vdc- 220Vac
- **Motor:** : 220Vac Trifásico 10HP,3HP



1.6.9 **Sistema de activación de turbina.** En la siguiente figura (número 25) se muestra los planos de conexión de la turbina.

**Figura 25** Plano de conexión de la turbina



Fuente: elaboración propia

La activación de la turbina se hace por medio de un relé electromecánico que se encarga de poner o cortar la corriente en la entrada de la turbina haciendo que esta se encienda o apague dependiendo de la necesidad del operario.

Además se implementa una interfaz gráfica mediante la cual el operario tendrá un control sobre la turbina

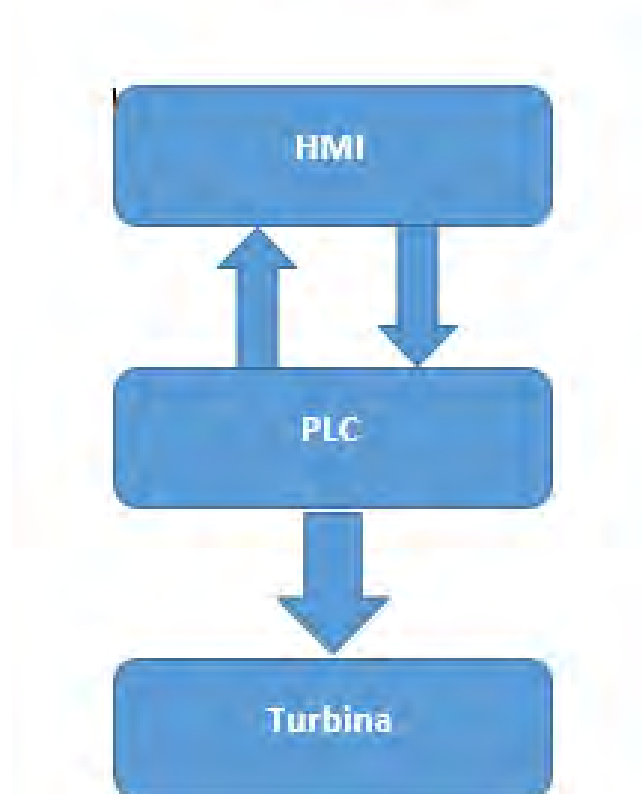
El sistema consiste en diseñar una interfaz HMI para que el operario pueda encender o apagar la turbina dependiendo de la necesidad, para el desarrollo de sistema se propone usar el dispositivo lógico de control (PLC), además de una computadora que este comunicada con el PLC por medio del protocolo de comunicación Ethernet.

Requerimientos:

- PLC SIEMENS S7-200 CPU 222 6ES7 214--1BD23--0XB0
- Modulo Ethernet CP 243--1
- Computador
- relevo electromecánico

#### 1.6.10 Diagrama de bloques de activación de la turbina.

### Sistema de control de turbina

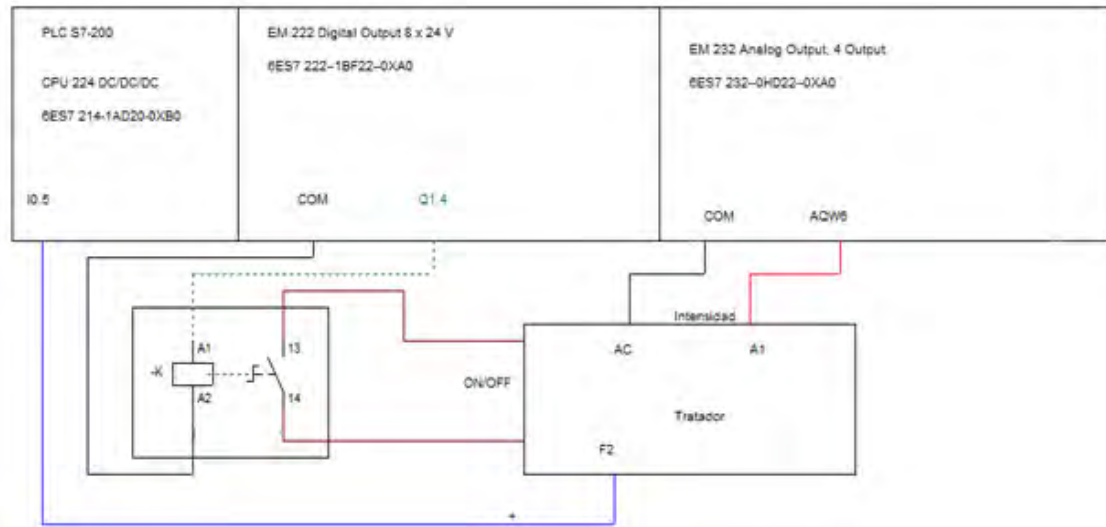


Fuente: elaboración propia

- **HMI:** computadora
- **PLC:** S7-200
- **Turbina:** 1.5KW, 110Vac

**1.6.11 Sistema de control para el tratador corona.** En la siguiente figura (numero 26) se muestra el plano de conexión para el tratador corona.

**Figura 26** Plano de conexión para el tratador corona



Fuente: elaboración propia

Este tratador tiene una entrada para la activación y desactivación de este el cual es activado mediante la conmutación del relé electromecánico y una entrada análoga la cual es para determinar la intensidad del tratado, esta entrada recibe un voltaje de 0 a 10V el cual es convertido a un 0% a 100% de intensidad.

La escogencia de la potencia del tratador se realiza en función de cuantos metros de ancho tendrá la película tubular a tratar, generalmente para este caso no supera los 80cm de ancho pero se debe considerar que algunas bolsas tendrán estampado por ambos lados lo cual se le debe sumar el ancho de la otra cara.

Además se implementa una interfaz gráfica mediante la cual el operario tendrá un control sobre el funcionamiento del tratador y su intensidad.

El sistema consiste en diseñar una interfaz HMI para que el operario pueda encender o apagar el tratador dependiendo de la necesidad y configurar su intensidad, para el desarrollo de sistema se propone usar el dispositivo lógico de

control (PLC), además de una computadora que este comunicada con el PLC por medio del protocolo de comunicación Ethernet.

Requerimientos:

- PLC SIEMENS S7-200 CPU 222 6ES7 214--1BD23--0XB0
- Modulo Ethernet CP 243—1
- Módulo de salidas analógicas EM-232
- Computador
- relevo electromecánico.

#### 1.6.12 Diagrama de bloques para el tratador corona

### Sistema de control del tratador corona



Fuente: elaboración propia

- **HMI:** computadora
- **PLC:** S7-200
- **Tratador:** 1500W

**1.6.13 Interfaz HMI de sistema de control y supervisión.** Generalmente el primer paso para el desarrollo de interfaz de usuario para un sistema de supervisión y control empieza por la definición del sistema y de las diferentes etapas principales que lo componen.

Luego cada etapa se separa del sistema y se modela mediante una serie de entradas y salidas de información, convirtiéndola en una especie de caja negra, que se podrá tratar de forma independiente, de esta manera será más fácil su posterior interconexión para conformar el sistema de supervisión y control.

Este método de aislar cada etapa del sistema permite realizar un trabajo más eficiente al definir en cada caja negra los siguientes ítems:

- Tipo y función de sus sensores y actuadores
- Características de sus elementos de control (PLC, reguladores, dispositivos electrónicos)
- Variables de control y comunicación
- Tipo de alarmas
- Formato de representaciones gráficas
- Pantallas de representación de los diferentes elementos y sistemas
- Instrucciones de funcionamiento, configuración y mantenimiento

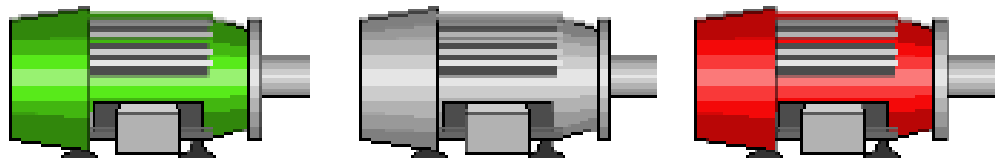
Después de aplicar este método, deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros de diseño para una HMI, los cuales solo serán mencionados los aplicables a este tipo de interfaz.

**1.6.13.1 Estados.** Los estados son situaciones normales de los elementos del proceso y es importante el uso de colores que se utilicen en otros ámbitos para representarlos, de manera que las diferencias de interpretación sean mínimas.

**Tabla 1** Representación por color de los estados

ESTADOS	COLOR
Marcha - Abierto	Verde
Paro - Cerrado	Gris
Paro (por falla) - Cerrado (por falla)	Rojo

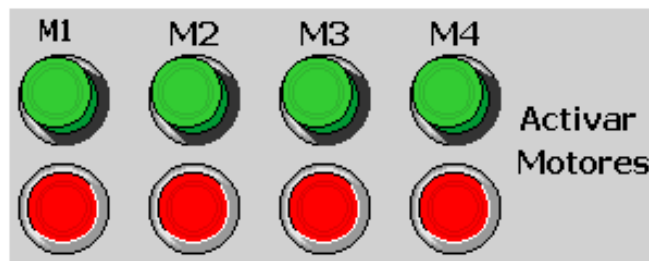
**Figura 27** Representación por color de los estados en un motor



**1.6.13.2 Ubicación de los elementos.** Al igual que se lee un artículo impreso, comenzando desde la parte superior y haciendo un barrido de izquierda a derecha, se lee una pantalla de visualización, pues este ya un comportamiento definido, el cual da una idea de cómo se deben distribuir las zonas de la pantalla y que elementos pueden ir en cada una de esas zonas, por ejemplo los elementos importantes deben ser ubicados en posiciones privilegiadas como las márgenes superior o inferior y es importante que no sean cubiertos por ventanas emergentes que aparezcan en cualquier momento con alguna información extra requerida.

- **Similitud:** Principio de la Gestalt según el cual elementos parecidos en tamaño, color o forma tienden a ser percibidos como conjunto y automáticamente se le asigna funciones similares.

**Figura 28** Principio de similitud en botones de acción



**1.6.13.3 Alarmas.** Las señales de alarma indican situaciones no deseadas que requieren de un operario para su solución. Existen dos grandes grupos:

- **Alarmas de paro:** Estas son señales de falla crítica y se considera que una vez se presenten provocan inmediatamente el paro del equipo, sin importar el punto en que se halle el proceso. Se consideran alarmas mantenidas, esto significa que una vez presentes, permanecerán activas hasta que se elimine la causa de la falla. Por ejemplo niveles máximos de presión y temperatura activan alarmas de paro, al igual que el accionamiento de un paro de emergencia.



1.6.13.4 **Señales de seguridad.** La señal de seguridad proporciona un mensaje de prevención generado por formas geométricas y diversos colores, la función de los colores y las formas es atraer la atención sobre lugares, equipos o situaciones que impliquen riesgos para el proceso y/o las personas.

La norma en Colombia que establece criterios unificados para el diseño de las señales de seguridad (forma, color, símbolos, contraste y textos), es la NTC 146 HIGIENE Y SEGURIDAD. COLORES Y SEÑALES DE SEGURIDAD, a continuación se describen algunos parámetros presentes en la norma:

**Figura 29** Ejemplos de la NTC 1461 para señales generales de seguridad



1.6.13.5 **Letras y números.** La representación de información escrita es un factor importante en una interfaz gráfica, pero no por esta razón se deben presentar textos con mucha información que saturen al usuario, por el contrario los textos deben ser concisos y claros, además los caracteres de ellos deben estar bien definidos y tener una dimensión adecuada, esto hace al texto visible y legible. A continuación se presentan unas reglas para evitar problemas debidos a los textos:

- El tamaño de la letra será aquel que permita una lectura cómoda desde el puesto de trabajo.
- Los textos deben ser sencillos pero concisos, para evitar malas interpretaciones.
- El tipo de fuente debe facilitar la lectura, las pantallas de visualización tienen menor resolución que una hoja de papel, por eso esta razón es recomendable usar fuentes sans-serif que son aquellas sin pequeños remates en sus extremos, esto facilita su lectura en las pantallas, algunos tipos de letra sans-serif son: Arial, Arial Narrow, Tahoma y Verdana.
- Usar sólo dos o tres tamaños de letras en la aplicación, conservando siempre la jerarquía.

- Limitar el uso de las mayúsculas sólo para las cabeceras de pantallas, pues su uso exagerado causa estrés visual.
- Si el texto que se va a presentar resulta muy extenso, se debe aumentar su interlineado para mejorar su legibilidad.

**1.6.13.6 Señalizaciones de conductos.** La Norma Técnica Colombiana NTC 3458 HIGIENE Y SEGURIDAD. IDENTIFICACIÓN DE TUBERÍAS Y SERVICIOS tiene por objeto especificar los colores para la identificación de las tuberías que transportan fluidos en instalaciones terrestres y en navíos, También incluye los conductos para ventilación y los utilizados en servicios eléctrico.

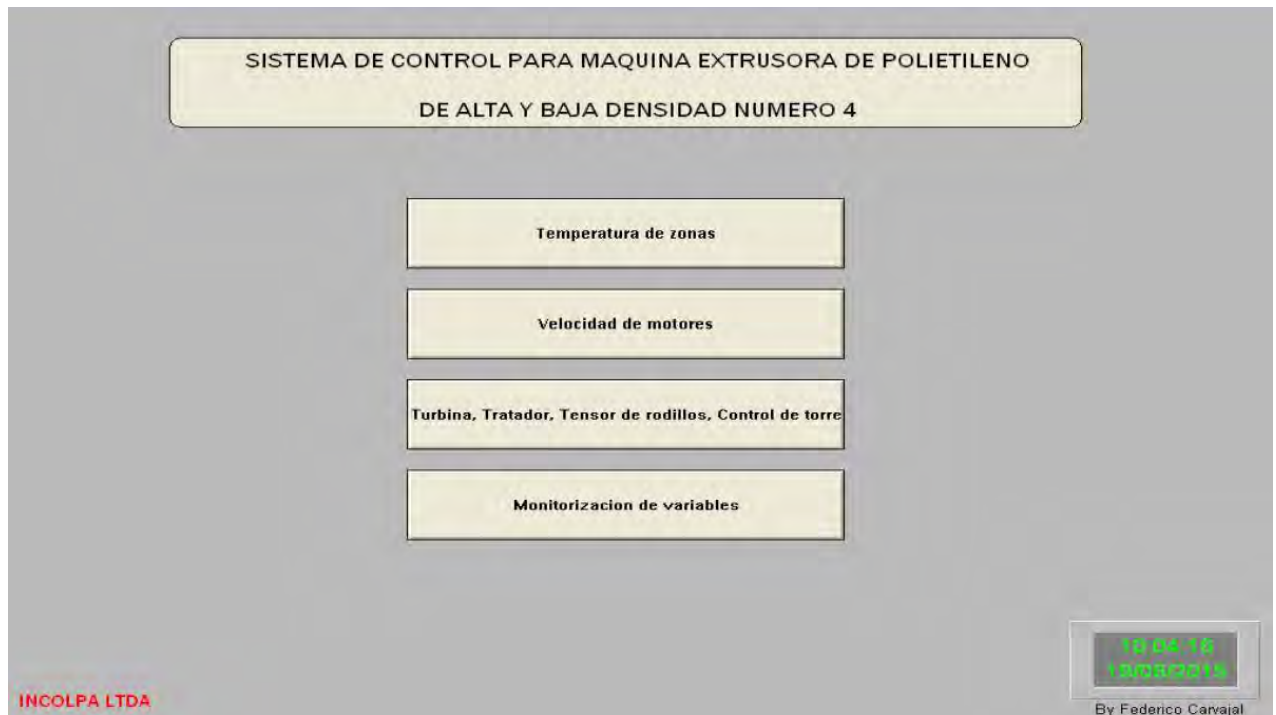
La siguiente tabla muestra la identificación por colores en tubería:

**Tabla 2** Colores de identificación de tubería según la NTC 3458

CONTENIDO DE LA TUBERÍA	COLOR
Agua	Verde
Agua potable	Verde y Azul
Vapor	Gris - Plata
Aire	Azul Claro
Aceites (Mineral, Vegeta, Animal) – Combustibles Líquidos	Marrón
Gases (en condición gaseosa o licuada) Excepto Aire	Amarillo Ocre
Ácidos y Álcalis	Violeta
Otros líquidos	Negro
Servicios eléctricos y conductos de ventilación	Naranja

**1.6.14 Interfaz HMI de sistema de control y supervisión.** El sistema de supervisión y control cuenta con la interfaz donde permite al usuario manipular y observar el comportamiento de las variables, el sistema cuenta con diferentes pantallas para cada variable, pero tiene una pantalla principal que se observa en la siguiente figura (número 30) donde está el direccionamiento a la interfaz de cada control.

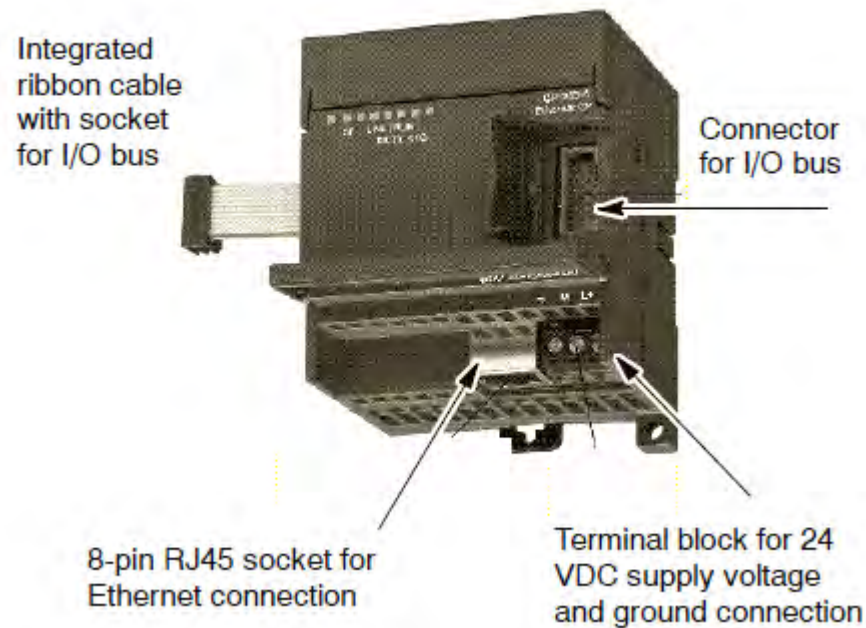
**Figura 30** Menú de opción de la interfaz HMI



Fuente: elaboración propia

La comunicación entre el computador y el PLC se hará por medio del módulo de comunicaciones Ethernet de referencia (CP 243--1) Ethernet Module 6GK7 243--1EX00--OXE0 que se muestra a continuación.

**Figura 31** Modulo de comunicación Ethernet



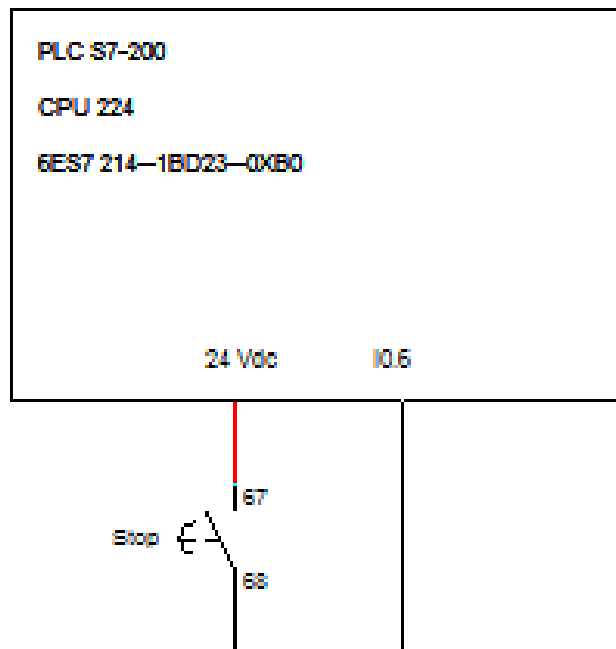
Este tipo de conexión fue seleccionado debido a la gran cantidad de servicios que puede ofrecer, servicios como programación remota desde cualquier equipo conectado a internet siempre y cuando la empresa haya solicitado a prestador de servicios de internet una dirección IP pública asignada a este, comunicación hacia una central SCADA, cableado más económico pensado en tener el sistema de control alejado de la máquina extrusora, entre otros servicios.

Las direcciones IP asignadas al PLC y al HMI (computadora) son las siguientes:

- PLC: 192.168.0.2
- HMI: 192.168.0.3

1.6.15 **Sistema de paro de emergencia.** En la siguiente figura se muestra el plano de conexión para el botón físico de paro de emergencia que tiene como función principal detener cualquier proceso realizado en la extrusora de polietileno de alta y baja densidad.

**Figura 32** Plano de conexión para parada de emergencia



Este botón se encuentra físicamente debido a que en caso de emergencia es de más fácil acceso, este tiene el siguiente aspecto.

**Figura 33** Botón de parada de emergencia



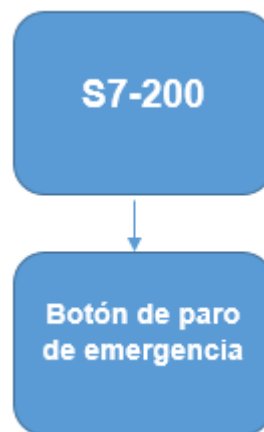
Fuente: elaboración propia

## 1.7 Etapa de diseño lógico del sistema de control y supervisión.

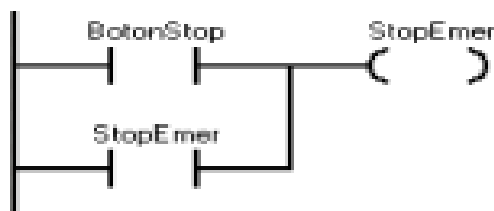
**1.7.1 Diseño de sistema de paro de emergencia.** El sistema de paro de emergencia es necesario para evitar que inconvenientes en el proceso de extrusión, ya sea por fallo de algún componente o por estar en riesgo la seguridad del operario.

**1.7.1.1 Componentes del sistema de paro de emergencia.** Este sistema está compuesto únicamente por la CPU del PLC y el botón de paro de emergencia.

**Figura 34** Sistema de paro de emergencia



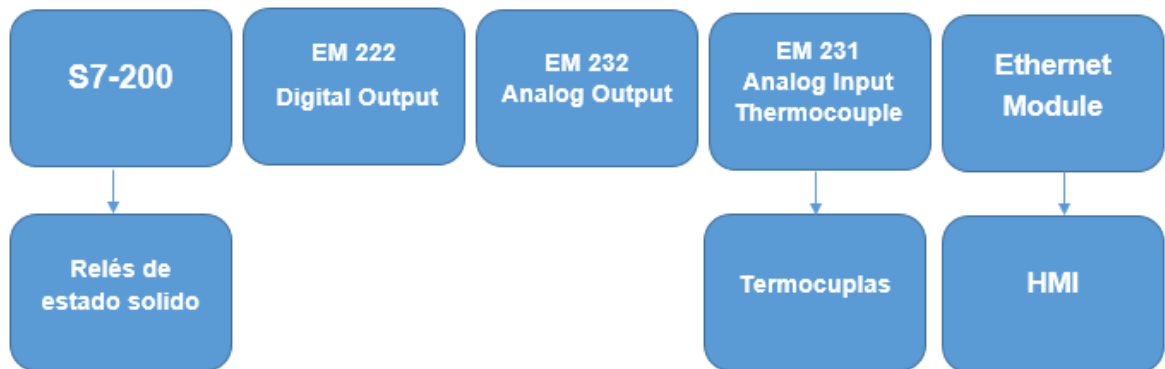
**1.7.1.2 Programación de parada de emergencia.** La programación de parada de emergencia se realiza en un solo segmento, pero esta memoria que se activa en caso de presionar el botón, se encuentra en el resto de segmentos de activación.



**1.7.2 Diseño de sistema de control de temperatura en las zonas.** El sistema de control de temperatura para las siete zonas es debido a que la extrusión se realiza con diferentes temperaturas a lo largo de del proceso como tal antes de salir el plástico ya extrudió por la boquilla, y se requiere que la temperatura en cada zona sea lo más constante posible.

1.7.2.1 **Componentes del sistema de control de temperatura.** El sistema de control está compuesto por el controlador PLC S7-200 de SIEMENS, un módulo de entradas análogas y la interfaz hombre maquina (computadora), donde serán cableados los sensores y relé de estado sólido.

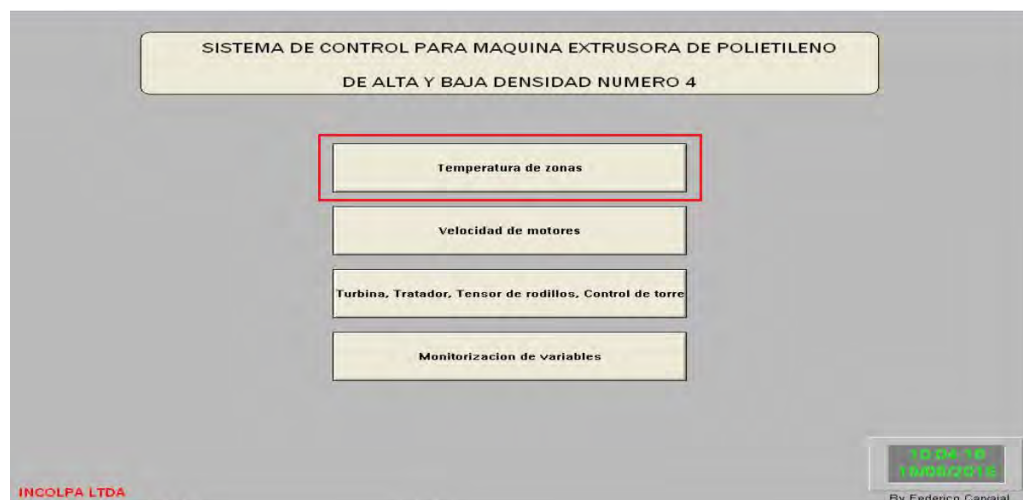
**Figura 35** Componentes del sistema de control de Temperatura



Fuente: elaboración propia

1.7.2.2 **Interfaz de sistema de control de temperatura.** La opción TEMPERATURA DE ZONAS de la pantalla principal permite direccionarse al control de temperaturas de cada una de las zonas, desde la interfaz hombre máquina (HMI) de la extrusora número 4.

**Figura 36** Pantalla principal, opción TEMPERATURA DE ZONAS

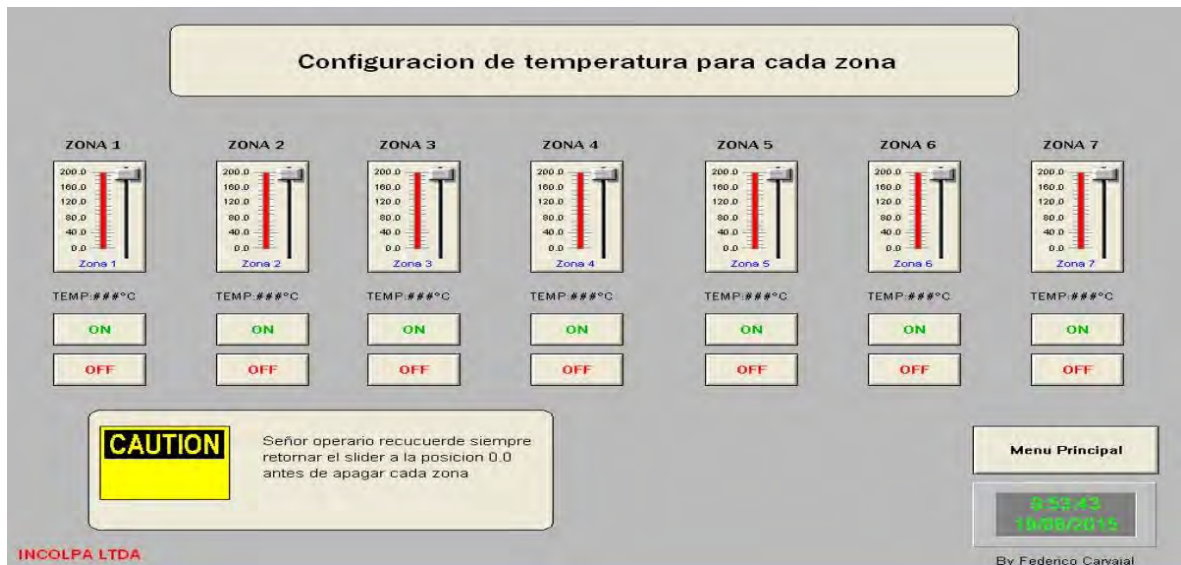


Fuente: elaboración propia

En la opción de control de temperatura de cada zona se observa que existe un slider para modificar la temperatura de cada zona que va de 0°C a 200°C y visualizar la temperatura actual en cada una de ellas, de tal forma que el operario tenga un rápido acceso a la configuración de la temperatura y además tenga la opción de apagar o encender cada zona.

En el caso de apagar la zona el PLC no envía la señal al relé de estado sólido para encender la resistencia lo cual provocaría que la temperatura descienda a la temperatura ambiente.

**Figura 37** Temperatura de las zonas



Fuente: elaboración propia

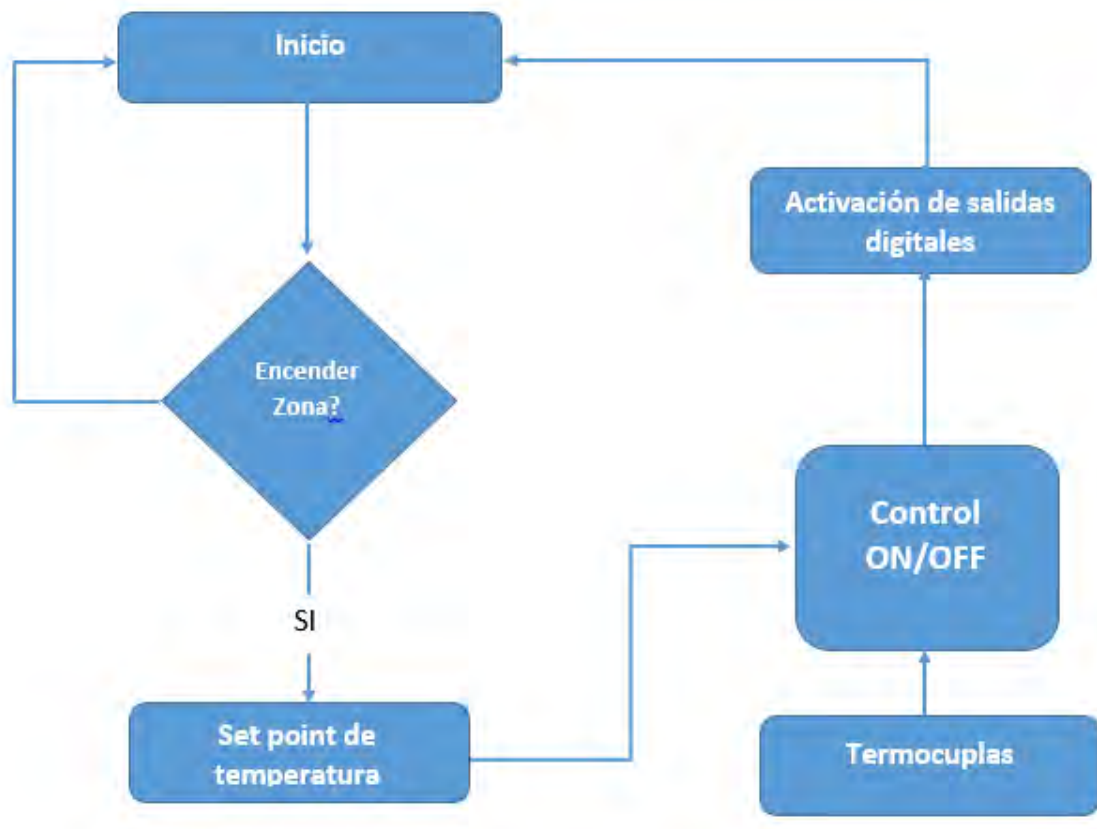
Una vez configurada la temperatura de cada zona se retorna al menú principal con el botón llamado de igual manera.



### 1.7.2.3 Programación del Control de temperatura.

- Diagrama de flujo para el sistema de control de temperatura

**Figura 38** Diagrama de flujo del Sistema de temperatura



Fuente: elaboración propia

A continuación se presentan el cuadro de entradas y salidas del sistema de control de temperatura.

- Cuadro de entradas y salidas(TAGS)

**Tabla 3** Tags de entradas y salidas, sistema de temperatura de zonas

Símbolo	Dirección	Comentario
ZONA7	M3.5	Retención de activación de zona
ZONA6	M3.4	Retención de activación de zona

ZONA5	M3.3	Retención de activación de zona
ZONA4	M3.2	Retención de activación de zona
ZONA3	M3.1	Retención de activación de zona
ZONA2	M3.0	Retención de activación de zona
ZONA1	M2.7	Retención de activación de zona
Termocupla7	AW12	Entrada Análoga conectada a la termocupla de la zona 7
Termocupla6	AW10	Entrada Análoga conectada a la termocupla de la zona 6
Termocupla5	AW8	Entrada Análoga conectada a la termocupla de la zona 5
Termocupla4	AW6	Entrada Análoga conectada a la termocupla de la zona 4
Termocupla3	AW4	Entrada Análoga conectada a la termocupla de la zona 3
Termocupla2	AW2	Entrada Análoga conectada a la termocupla de la zona 2
Termocupla1	AW0	Entrada Análoga conectada a la termocupla de la zona 1
TempDeseada7	VD152	Valor de Temperatura que se desea llevar a la zona 7
TempDeseada6	VD144	Valor de Temperatura que se desea llevar a la zona 6
TempDeseada5	VD136	Valor de Temperatura que se desea llevar a la zona 5
TempDeseada4	VD128	Valor de Temperatura que se desea llevar a la zona 4
TempDeseada3	VD120	Valor de Temperatura que se desea llevar a la zona 3
TempDeseada2	VD112	Valor de Temperatura que se desea llevar a la zona 2
TempDeseada1	VD104	Valor de Temperatura que se desea llevar a la zona 1
Scal7	VD148	Valor escalado 0.0 a 200.0 de la temperatura de la zona 7
Scal6	VD140	Valor escalado 0.0 a 200.0 de la temperatura de la zona 6
Scal5	VD132	Valor escalado 0.0 a 200.0 de la temperatura de la zona 5
Scal4	VD124	Valor escalado 0.0 a 200.0 de la temperatura de la zona 4
Scal3	VD116	Valor escalado 0.0 a 200.0 de la temperatura de la zona 3
Scal2	VD108	Valor escalado 0.0 a 200.0 de la temperatura de

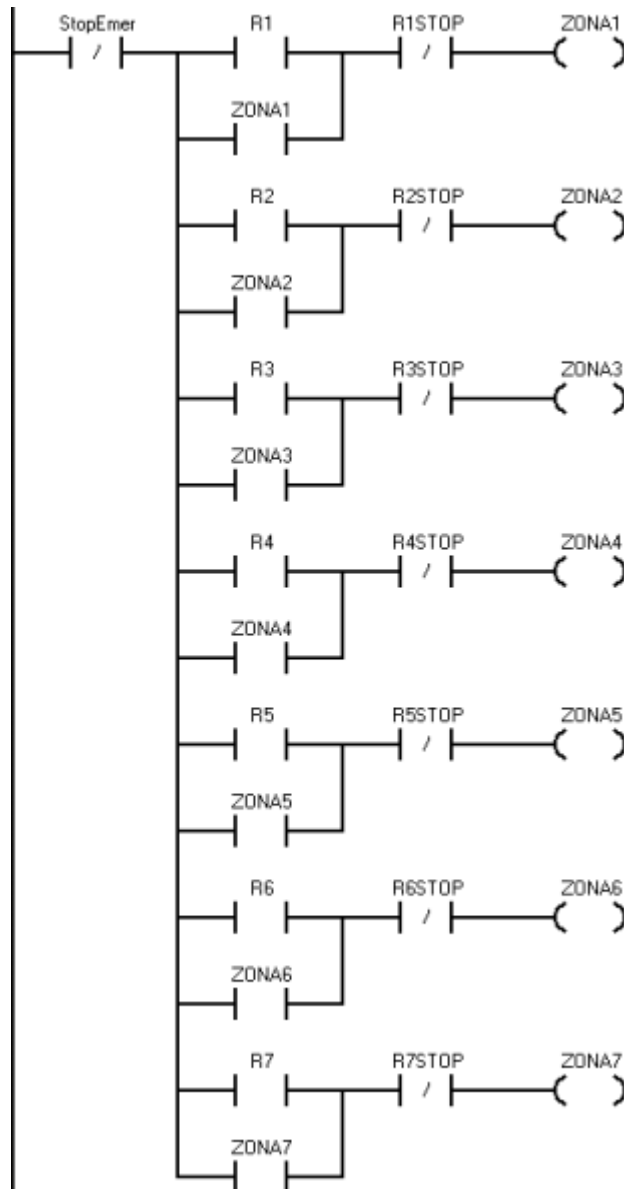
		la zona 2
Scal1	VD100	Valor escalado 0.0 a 200.0 de la temperatura de la zona 1
RZona7	Q0.6	Salida del PLC a relé de estado sólido de la zona 7
RZona6	Q0.5	Salida del PLC a relé de estado sólido de la zona 6
RZona5	Q0.4	Salida del PLC a relé de estado sólido de la zona 5
RZona4	Q0.3	Salida del PLC a relé de estado sólido de la zona 4
RZona3	Q0.2	Salida del PLC a relé de estado sólido de la zona 3
RZona2	Q0.1	Salida del PLC a relé de estado sólido de la zona 2
RZona1	Q0.0	Salida del PLC a relé de estado sólido de la zona 1
R7STOP	M2.6	Memoria que desactiva la zona 7
R7	M0.6	Memoria que activa la zona 7
R6STOP	M2.5	Memoria que desactiva la zona 6
R6	M0.5	Memoria que activa la zona 6
R5STOP	M2.4	Memoria que desactiva la zona 5
R5	M0.4	Memoria que activa la zona 5
R4STOP	M2.3	Memoria que desactiva la zona 4
R4	M0.3	Memoria que activa la zona 4
R3STOP	M2.2	Memoria que desactiva la zona 3
R3	M0.2	Memoria que activa la zona 3
R2STOP	M2.1	Memoria que desactiva la zona 2
R2	M0.1	Memoria que activa la zona 2
R1STOP	M2.0	Memoria que desactiva la zona 1
R1	M0.0	Memoria que activa la zona 4
StopEmer	M1.7	Memoria que deshabilita los demás procesos
BotonStop	I0.6	Entrada digital conectada al botón de paro de emergencia.

Los tags indicados en el cuadro son alias de las entradas y salidas de la CPU del PLC, del módulo EM 231 que permiten la adquisición de datos y acciones de control.

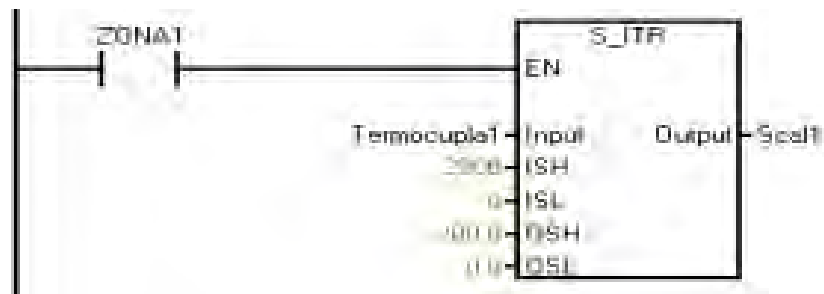
- **Programa en el PLC de sistema de control de temperatura**

**NOTA:** El programa de configuración de todo el sistema se encuentra en los anexos.

En este segmento se activa el funcionamiento de cada zona, en otras palabras si se presiona el pulsador de ON de cualquier zona, el contacto **R1** (en el caso de que se haya presionado el de la zona 1) se activa y con él la zona 1. Esta permanece activa realizando el control para esta zona hasta que el pulsador OFF de la misma zona en la interfaz sea presionado o se presione el pulsador de stop emergencia.

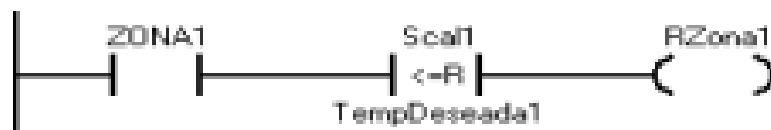


Estando activa esta zona entra en funcionamiento el siguiente segmento, que tiene como función principal realizar el escalamiento de la lectura realizada por el módulo de entradas análogas sobre la termocupla correspondiente a la zona a un valor de 0.0 a 200.0, para esto se hizo uso del bloque de función **S\_ITR** perteneciente a la librería **SCAL V2.0**



La justificación de los valores puestos en el bloque de función del anterior segmento se realizara en el apartado de escalamiento de señales análogas que se encuentra seguido de este apartado.

Teniendo el valor escalado al valor real de temperatura almacenado en la posición de memoria con símbolo **Scal1** se realiza el control ON/OFF mediante la función de comparación  $A \leq B$  que se activa cuando esta sentencia es verdadera siendo  $A = \text{Scal1}$  y  $B = \text{TempDeseada1}$  siendo este último el valor de temperatura a el cual se quiere llevar esta zona proveniente de la interfaz HMI.



Si la sentencia es verdadera se activa la salida del PLC conectada al relé de estado sólido correspondiente a esta zona.

Para el proceso de control de temperatura no se implementó ninguna alarma debido a que estas resistencias no tienen la capacidad de elevar su temperatura a valores fuera del rango establecido.

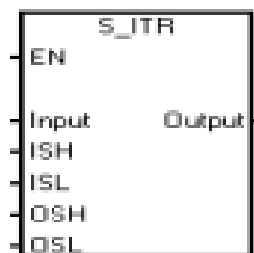
**Nota:** Esta programación se realiza exactamente igual para las demás zonas cambiando los Tags correspondientes a cada una de ellos.

- **Escalado de entradas y salidas análogas**

El escaldo se realiza haciendo uso de la librería diseñada para este propósito llamada SCAL versión 2.0, pero específicamente haciendo uso de los bloques de función que esta contiene.

Los parámetros a configurar son los siguientes:

**Figura 39** Bloque de función de escalamiento



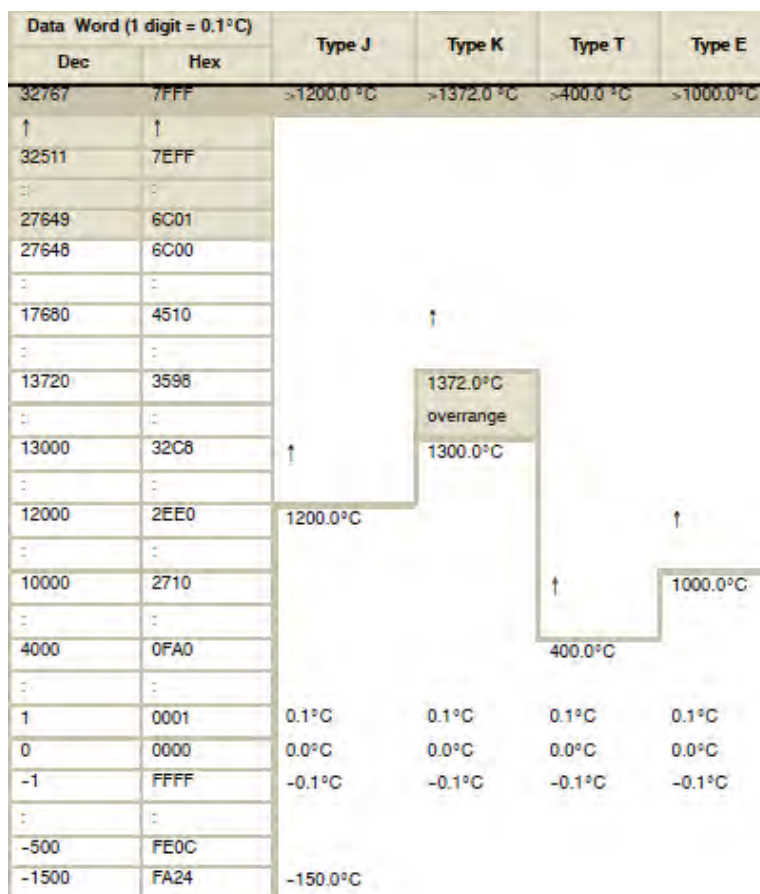
- Input: variable que se quiere escalar
- Output: variable que tomara el valor escalado
- ISH: valor máximo que tomara la variable a escalar
- ISL: valor mínimo que tomara la variable a escalar
- OSH: valor máximo que tendrá la variable a escalar
- OSL: valor mínimo que tendrá la variable a escalar

Las entradas análogas para este caso están en el módulo de termocuplas EM 231, este módulo cuenta con un conversor análogo digital ADC que almacena el valor digital en las memorias AIWXX.

Este valor puede estar entre aproximadamente -32000 y 32000 dependiendo del tipo de termocupla que se le conecte.

Para nuestro caso lleva conectada una termocupla de tipo J por lo tanto el valor digital va desde -1500 a 12000 midiendo temperaturas de -150°C a 1200°C como se muestra en el siguiente cuadro tomado del manual de S7-200 de siemens.

**Figura 40** Rango de temperaturas y sensibilidad de termocuplas para el módulo EM231



Dicho lo anterior al valor convertido por el ADC del rango de temperatura que es de 0 a 200°C sería de 0 a 2000.

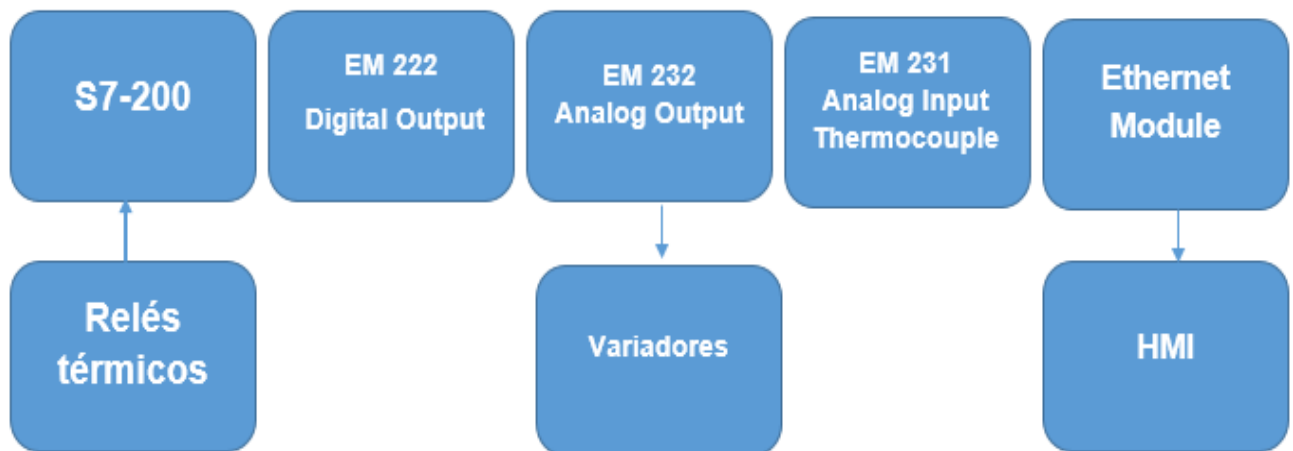
Entonces los valores de las entradas al bloque de función de escalamiento serían:

- Input: variable correspondiente a la entrada análoga
- output: variable correspondiente al valor escalado de cada zona
- ISH: 2000.0
- ISL: 0.0
- OSH: 200.0
- OSL: 0.0

**1.7.3 Diseño de sistema de control de motores.** En la máquina extrusora de polietileno de alta y baja densidad número 4 existen 3 motores a los cuales se les debe controlar la velocidad dependiendo del tipo de película tubular que este en el proceso de fabricación.

**1.7.3.1 Componentes del sistema de control de motores.** El sistema de control está compuesto por el controlador PLC S7-200 de SIEMENS, un módulo de salidas análogas y la interfaz hombre máquina (computadora), donde serán conectados los variadores de velocidad y los contactos de los relés térmicos para las alarmas.

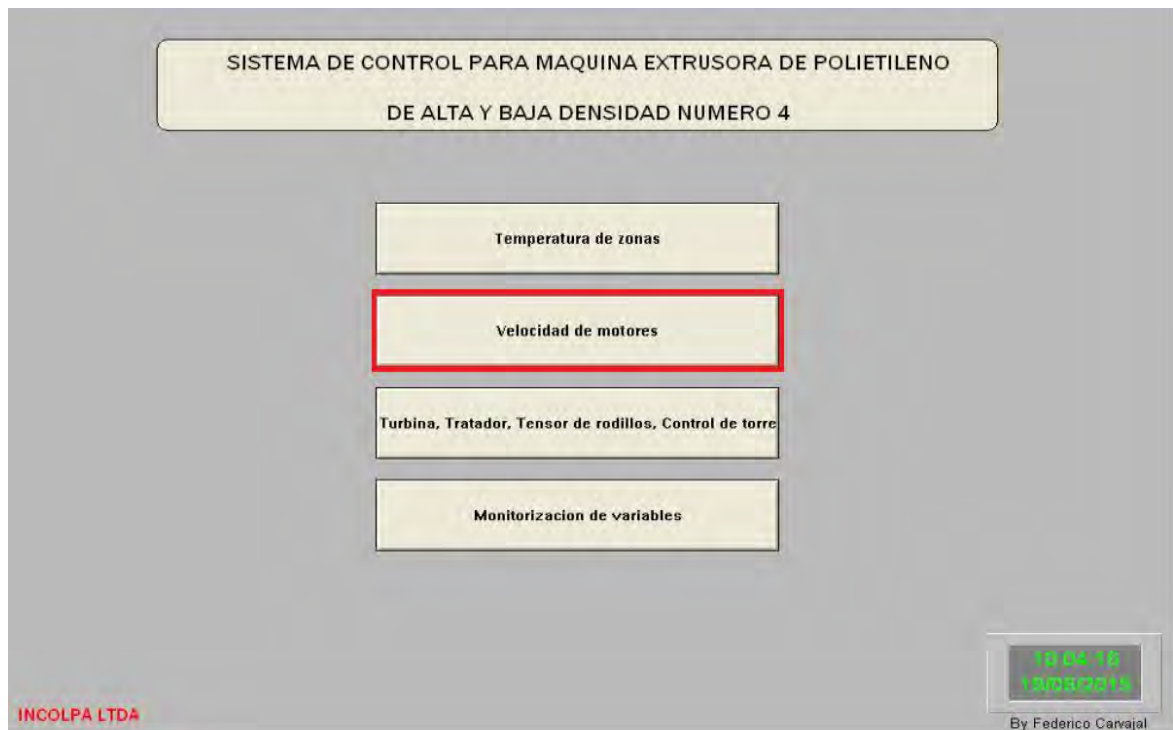
**Figura 41** Componentes del sistema de control para motores.



Fuente: elaboración propia

**1.7.3.2 Interfaz de sistema de control para motores.** La opción VELOCIDAD DE MOTORES de la pantalla principal permite direccionarse al control de cada uno de los motores, desde la interfaz hombre máquina (HMI) de la extrusora número 4.

**Figura 42** Pantalla principal opción, velocidad de motores

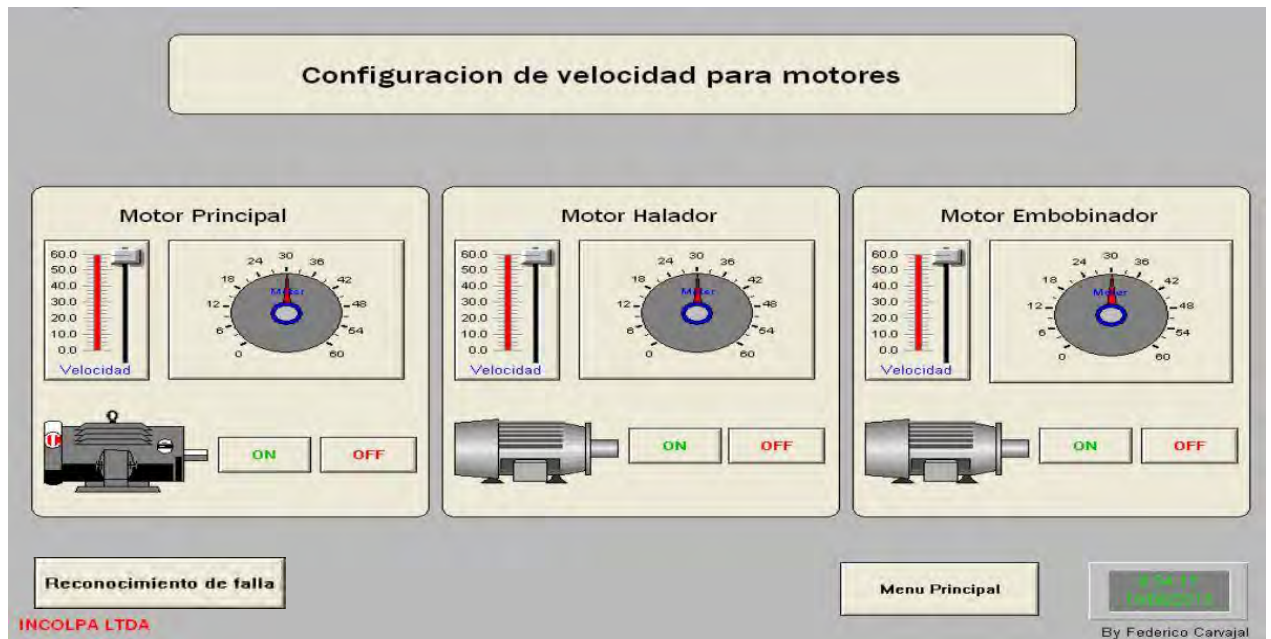


Fuente: elaboración propia

En la opción de control para velocidad de motores es posible realizar el ajuste de la velocidad y dar marcha a cada uno de los motores por medio de tres Sliders que permiten ingresar valores de velocidad de 0 a 60Hz para cada motor y dos botones de ON y OFF para poner en marcha los motores o el caso contrario pararlo si se encuentra andando.



**Figura 43** interfaz de Control para motores



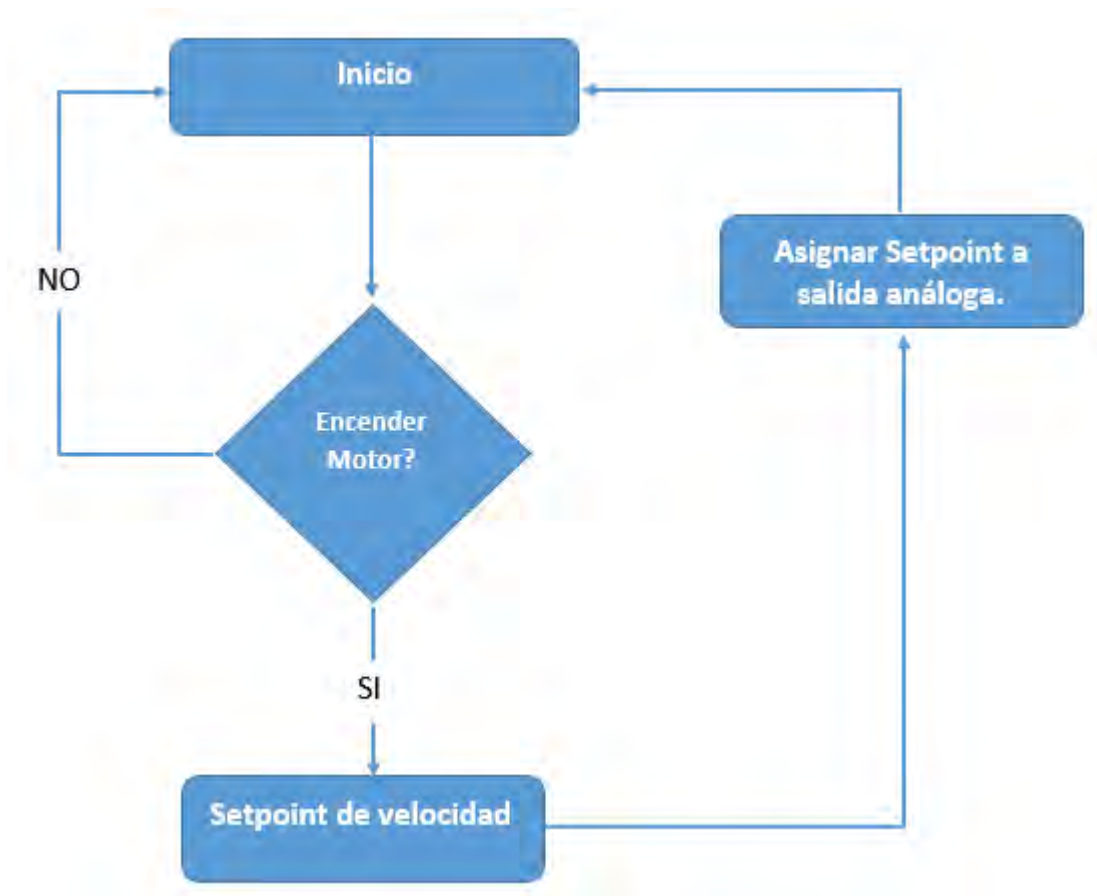
Fuente: elaboración propia

Una vez configurada la temperatura de cada zona se retorna al menú principal con el botón llamado de igual manera.

### 1.7.3.3 Programación del control para motores

- Diagrama de flujo para el control de motores

Figura 44 Diagrama de flujo para el control de motores



Fuente: elaboración propia

A continuación se presentan el cuadro de entradas y salidas del sistema de control para motores

**Tabla 4** Tags de entradas y salidas, sistema de control para motores

Símbolo	Dirección	Comentario
Motor1	AQW0	Salida análoga que va hacia el variador del motor1
Motor2	AQW2	Salida análoga que va hacia el variador del motor2

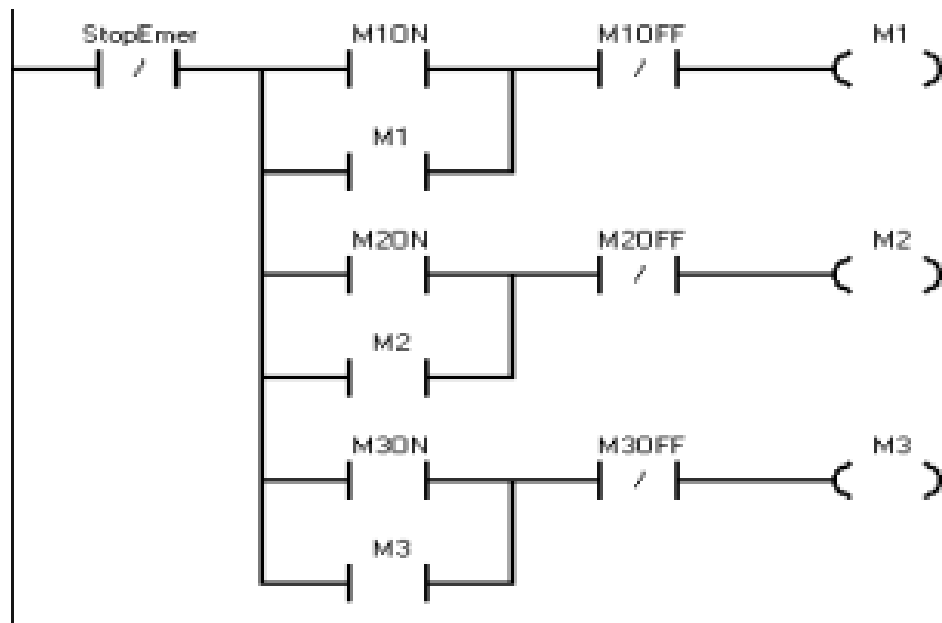
Motor3	AQW4	Salida análoga que va hacia el variador del motor3
FalloM1	I0.0	Entrada proveniente del relé térmico del motor 1
FalloM2	I0.1	Entrada proveniente del relé térmico del motor 2
FalloM3	I0.2	Entrada proveniente del relé térmico del motor 3
M1ON	M3.6	Memoria que activa el motor 1
M1OFF	M3.7	Memoria que desactiva el motor 1
M2ON	M4.0	Memoria que activa el motor 2
M2OFF	M4.1	Memoria que desactiva el motor 2
M3ON	M4.2	Memoria que activa el motor 3
M3OFF	M4.3	Memoria que desactiva el motor 3
M3	Q1.0	Arranque de motor 3
M2	Q1.1	Arranque de motor 2
M1	Q1.2	Arranque de motor 1
VM1HMI	VD164	Memoria que almacena la velocidad deseada proveniente del HMI para el motor 1
VM2HMI	VD168	Memoria que almacena la velocidad deseada proveniente del HMI para el motor 2
VM3HMI	VD172	Memoria que almacena la velocidad deseada proveniente del HMI para el motor 3

Los tags indicados en el cuadro son alias de las entradas y salidas de la CPU del PLC, del módulo EM 232 que permiten enviarle la señal de control a los variadores y alamas de fallo.

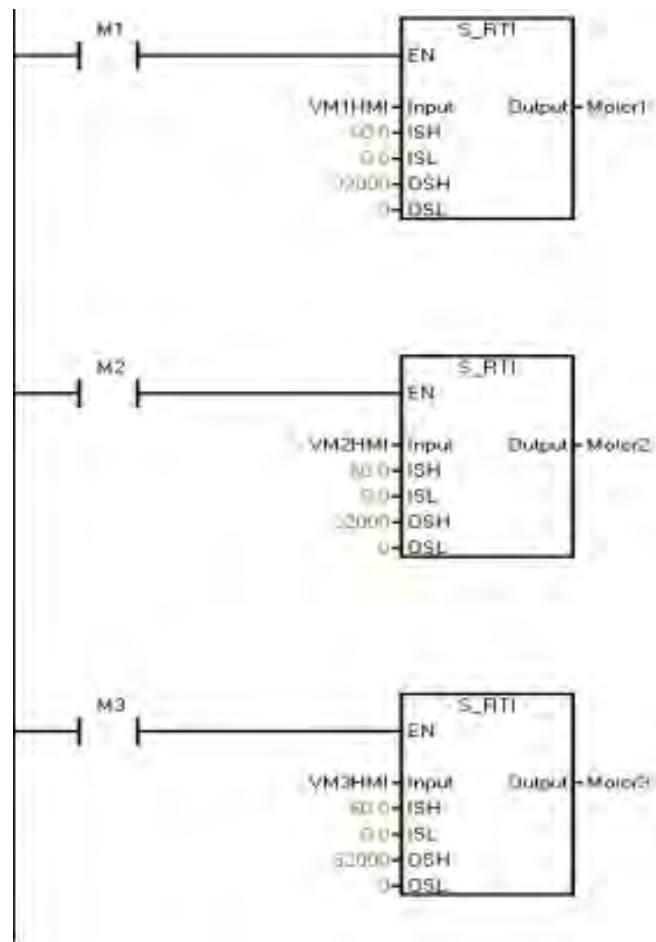
- **Programa en el PLC de sistema de control para motores**

**NOTA:** El programa de configuración de todo el sistema se encuentra en los anexos.

En este segmento se activa el funcionamiento de cada motor, en otras palabras si se presiona el pulsador de ON de cualquier motor, el contacto **M1ON** (en el caso de que se haya presionado el del motor 1) se activa y con él el motor 1. Este permanece activo girando con la velocidad establecida hasta que el pulsador OFF del mismo motor en la interfaz sea presionado o se presione el pulsador de stop emergencia



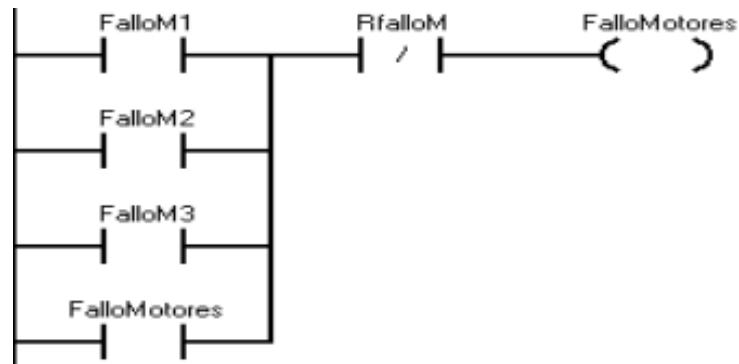
Estando activo el motor 1 entra en funcionamiento el siguiente segmento, que tiene como función principal realizar el escalamiento del valor de velocidad recibido de la interfaz HMI y escalarlo a un valor de 0 a 32000 que es el rango que se escribirá en la salida análoga y va al variador de velocidad, para esto se hizo uso del bloque de función S\_RTI perteneciente a la librería SCAL V2.0



La justificación de los valores puestos en el bloque de función del anterior segmento se realizara en el aparatado de programación de control de temperatura en la página 72.

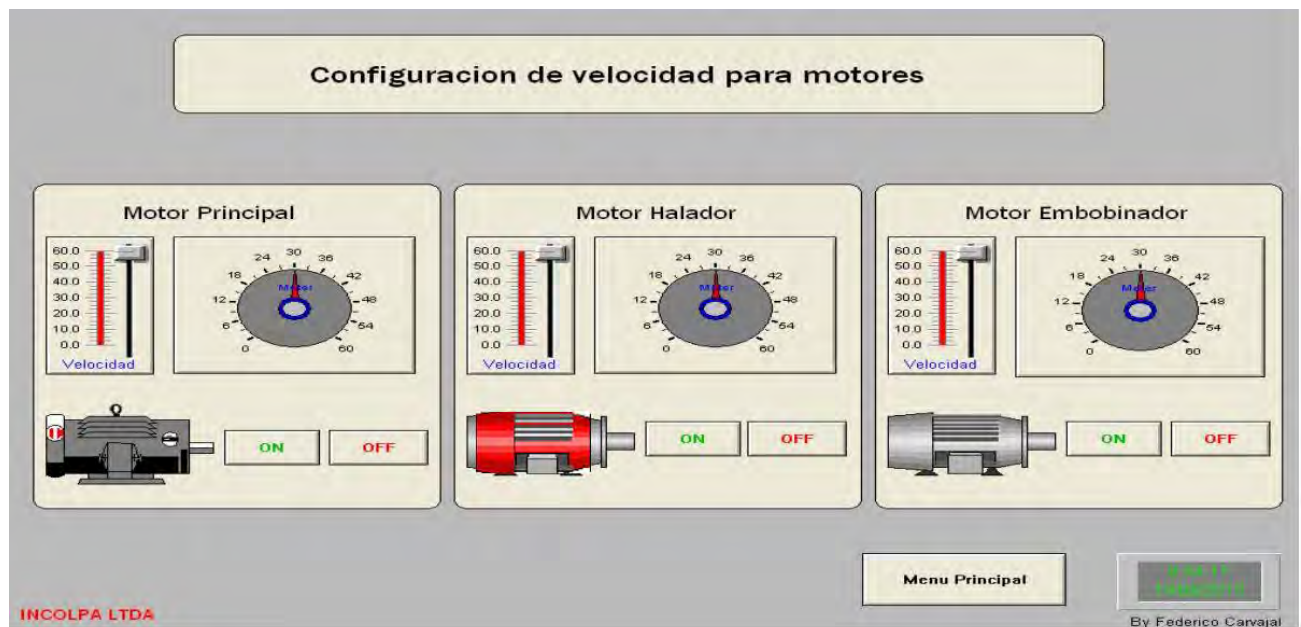
- **alarmas del sistema de control para motores**

Las alarmas que genera el sistema de control para motores son activadas cuando existe alguna sobrecarga de trabajo en algún motor esa se genera por medio de la activación del contacto del relé térmico que va hacia la entrada digital de la CPU del PLC asignada a la dirección llamada **FalloM1** para el caso que se presente una sobrecarga en el motor 1.



Al activarse la posición de memoria del motor que dejo de funcionar por la sobrecarga este se pondrá de color rojo. Indicando el problema ocurrido.

**Figura 45** Motor en fallo.

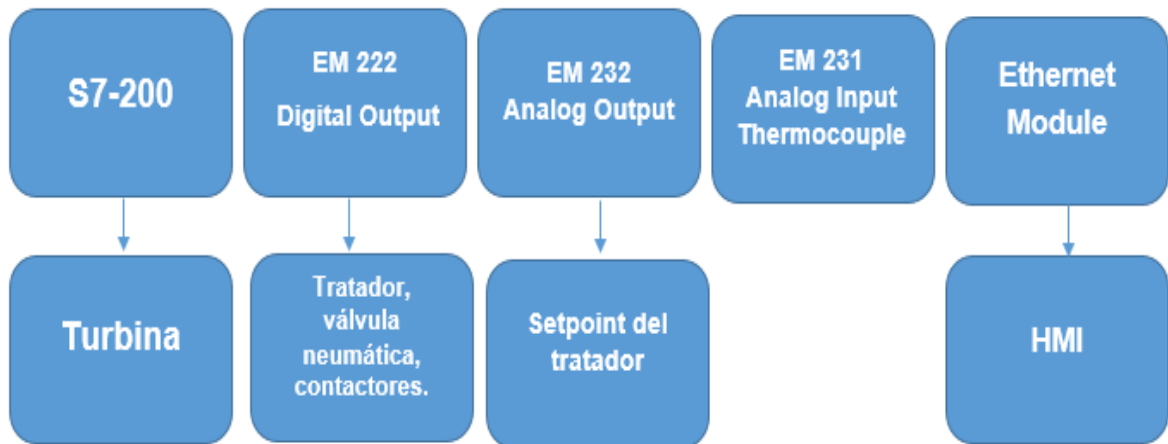


Fuente: elaboración propia

**1.7.4 Diseño de sistema de control a Turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.** El sistema de control para estos componentes de la maquina está compuesto por el controlador PLC S7-200 de SIEMENS, un módulo de salidas análogas y la interfaz hombre maquina (computadora), donde estará conectado el tratador corona, la turbina, válvula neumática y los contactores de la torre.

**1.7.4.1 Componentes de sistema de control de turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.**

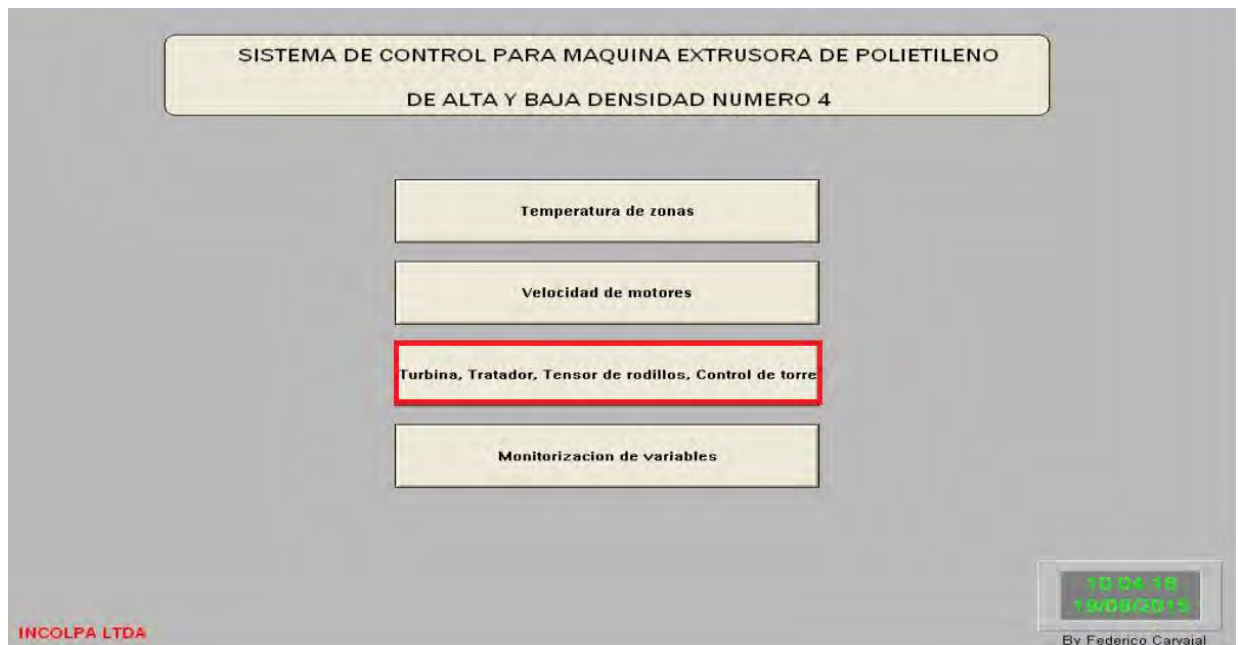
**Figura 46** Componentes de sistemas de control de turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.



Fuente: elaboración propia

**1.7.4.2 Interfaz de sistema de sistema de control de turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.** La opción TURBINA, TRATADOR, TENSION DE RODILLO, CONTROL DE TORRE de la pantalla principal permite direccionarse al control de cada uno de estos componentes, desde la interfaz hombre máquina (HMI) de la extrusora número 4.

**Figura 47** pantalla principal, opción turbina, tratador, tensión de rodillo, control de torre



Fuente: elaboración propia

En esta opción es posible posicionar la torre en el lugar adecuado dependiendo de la necesidad, esto se hace por medio de los dos pulsadores con flechas hacia arriba y abajo presionándolos hasta la posición deseada, encender o apagar la turbina por medio de los botones ON y OFF de este segmento.



**Figura 48** interfaz para control de turbina, tratador, tensión de rodillo, control de torre



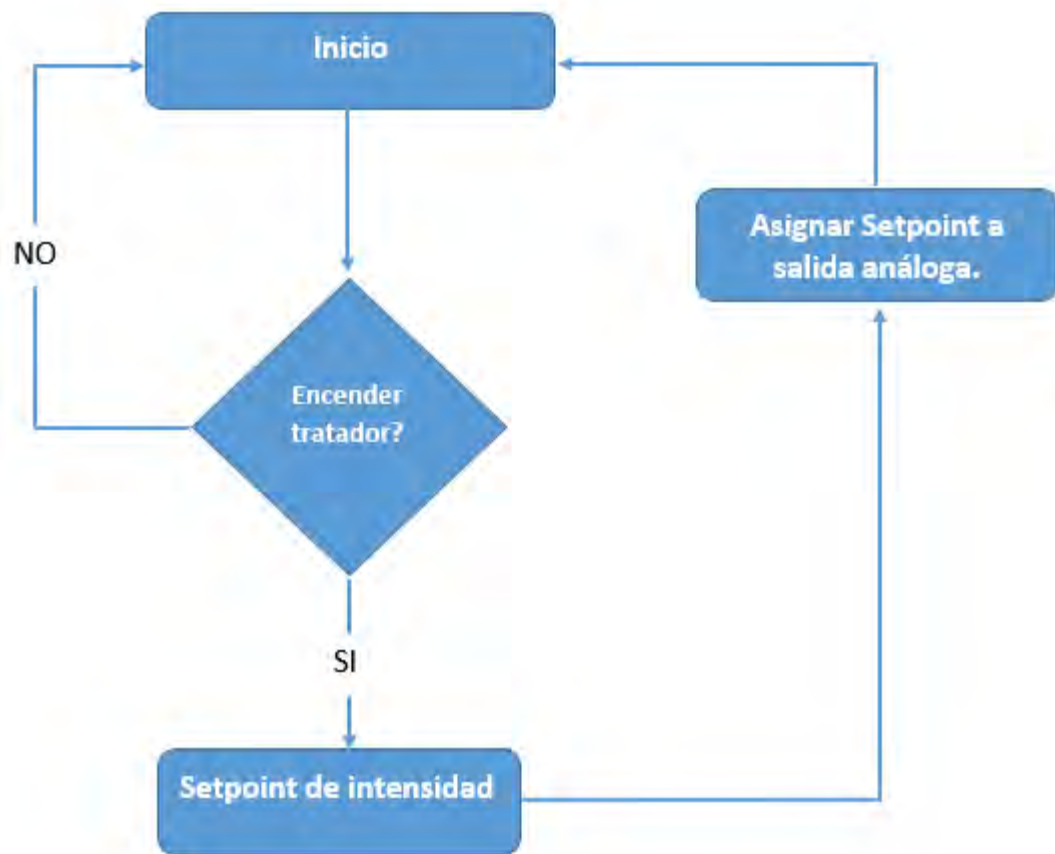
Fuente: elaboración propia

En esta interfaz también se realiza el control de la válvula neumática que permite el cierre de los rodillos generando tensión en el embobinado de la película tubular y el control al tratador corona permitiendo encender o apagar por medio de los dos pulsadores de ON y OFF además de poder configurar la intensidad del tratado por medio del Slider, este valor puede ser de 0% o 100%.

#### 1.7.4.3 Programación de control a Turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.

- Diagrama de flujo para el control del tratador corona.

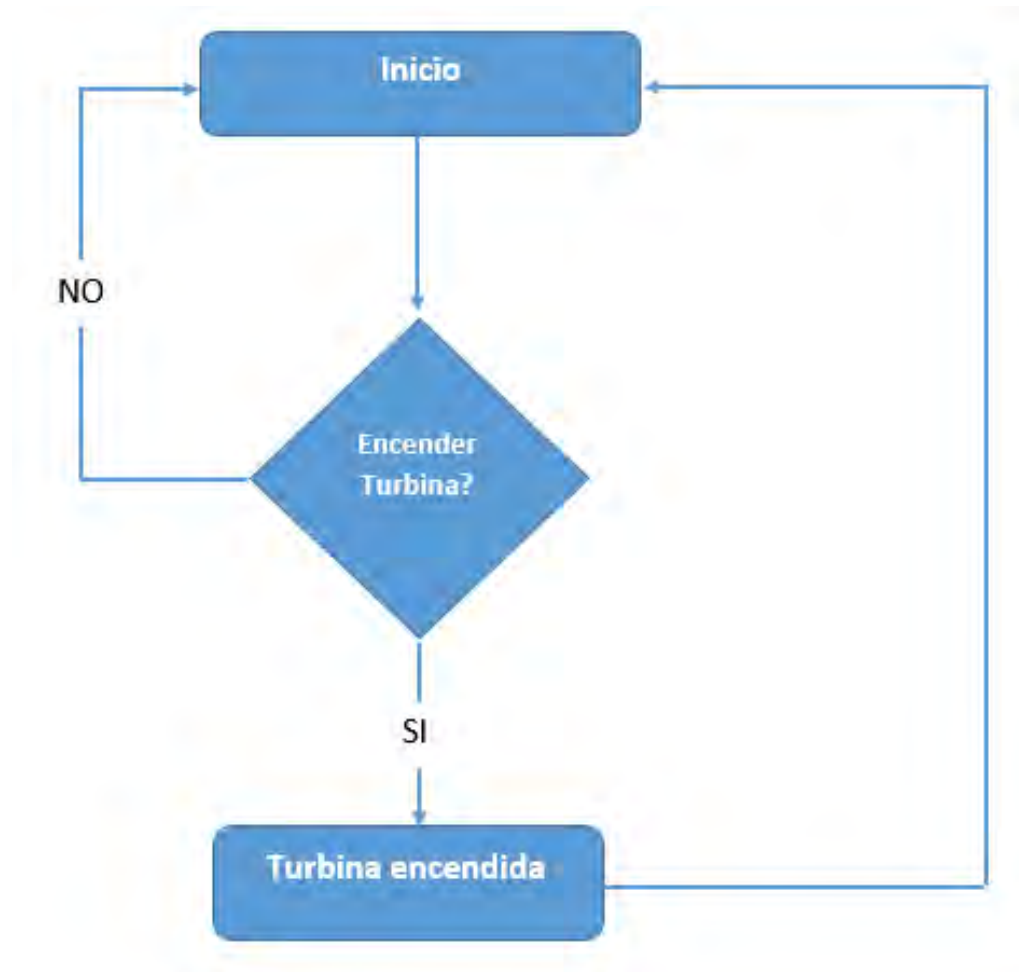
**Figura 49** Diagrama de flujo para el control del tratador corona.



Fuente: elaboración propia

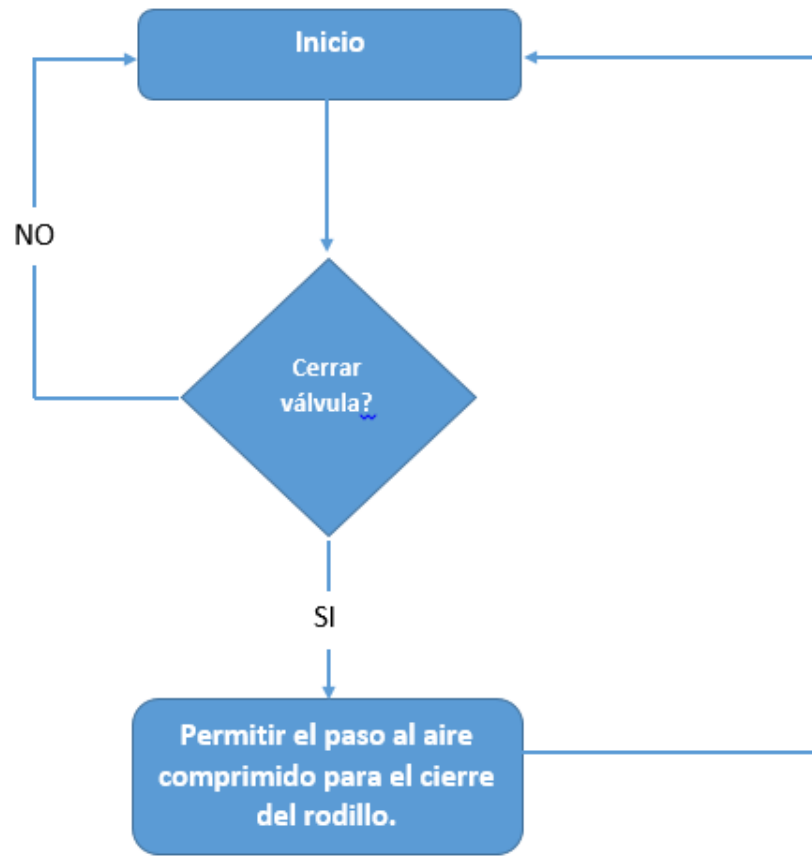
- Diagrama de flujo para el control de la turbina.

**Figura 50** Diagrama de flujo para el control de la turbina



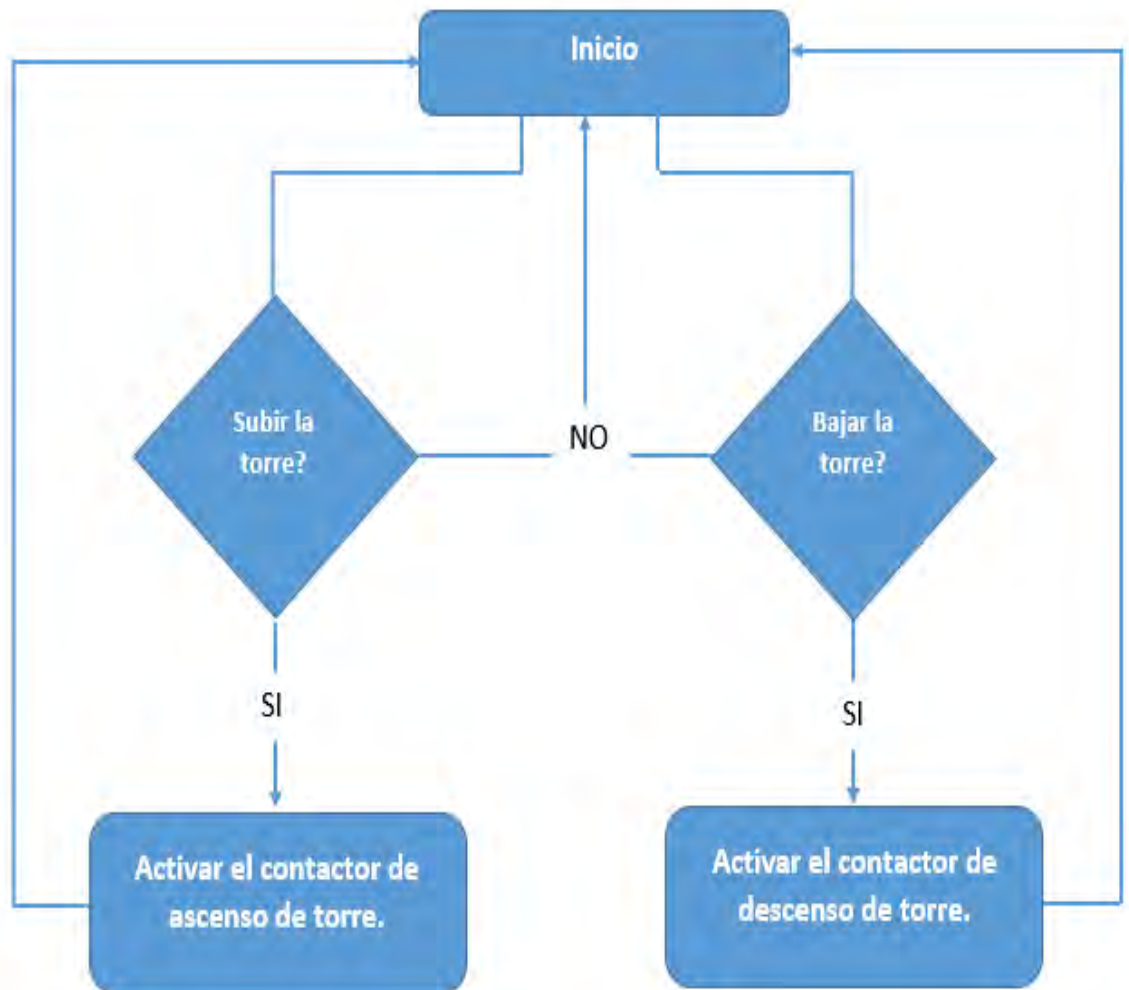
- Diagrama de flujo para el control de tensión en rodillo embobinador.

**Figura 51** Diagrama de flujo para el control de tensión en rodillo embobinador.



- Diagrama de flujo para el control de la torre.

**Figura 52** Diagrama de flujo para el control de la torre.



A continuación se presentan el cuadro de entradas y salidas de los sistemas de control de turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.

**Tabla 5** Tags de entradas y salidas, sistema de control de turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.

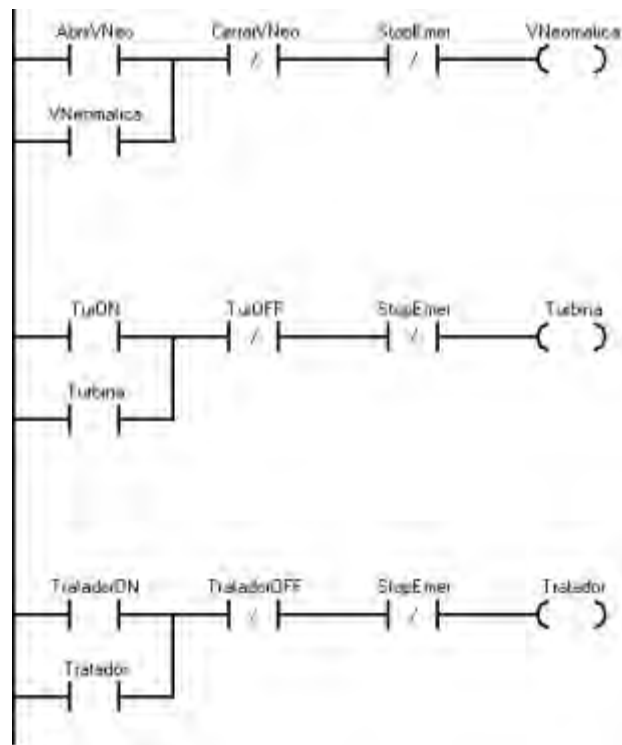
<b>Símbolo</b>	<b>Dirección</b>	<b>Comentario</b>
intensidadTratador	AQW6	Salida análoga conectada a el tratador.
FalloP1	I0.3	Entrada que indica que el pistón 1 no salió
FalloP2	I0.4	Entrada que indica que el pistón 2 no salió
FalloT	I0.5	Entrada que indica que el tratador falló
AbrirVNeu	M0.7	Memoria que activa la salida a la válvula neumática
CerrarVNeu	M1.0	Memoria que desactiva la salida a la válvula neumática
TurON	M1.1	Memoria que activa la salida a la turbina
TurOFF	M1.2	Memoria que desactiva la salida a la turbina
TratadorOFF	M1.5	Memoria que desactiva la salida al tratador
TratadorON	M1.6	Memoria que activa la salida al tratador
TorreUP	M4.4	Memoria que activa la salida al contactor de subida.
TorreDown	M4.5	Memoria que activa la salida al contactor de bajada.
FalloPistones	M4.7	Memoria que queda activa después de un fallo de pistones
FalloTratador	M5.0	Memoria que queda activa después de un fallo del tratador
RfalloT	M5.2	Memoria de reconocimiento de fallo del tratador
RfalloP	M5.3	Memoria de reconocimiento de fallo de pistones
VNeumatica	Q0.7	Salida conectada la bobina de la válvula neumática.
Turbina	Q1.3	Salida conectada a la turbina
Tratador	Q1.4	Salida conectada al tratador.
ContactorUP	Q1.5	Salida conectada a la bobina de contactor de subida
ContactorDOWN	Q1.6	Salida conectada a la bobina de contactor de bajada
TratadorHMI	VD180	Memoria que almacena el valor de intensidad proveniente de la interfaz HMI

- Programa en el PLC para el control de control de turbina, torre, válvula neumática y tratador corona.

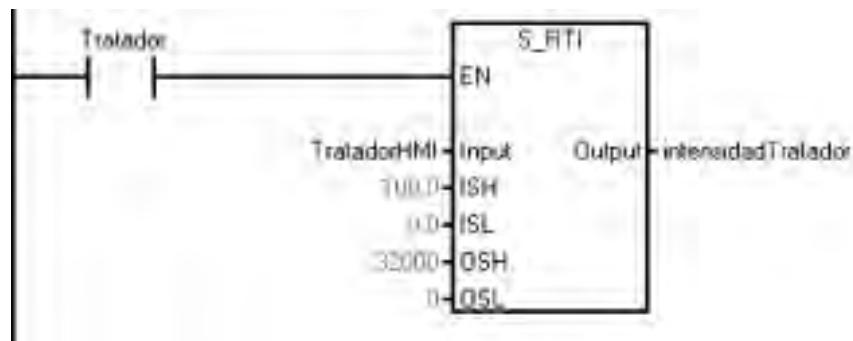
En este segmento se activa el funcionamiento de la válvula neumática, turbina y tratador, en el caso que se presione el pulsador de ON de la turbina o/y tratador se activa la memoria **TurON** y **TratadorON** y con ellos las salidas correspondientes a cada uno.

Si se presione el pulsador Verde de abrir válvula, este activa la memoria **AbrirNeu** haciendo que se active la salida que va a la bobina de la válvula haciendo que esta permita el paso de aire comprimido.

Estos permanecen activos hasta que se presionen los botones correspondientes a detener el proceso (OFF y Cerrar) o se presione el botón de paro de emergencia.

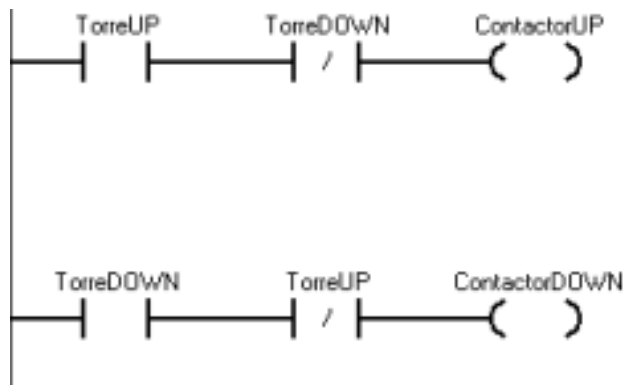


Estando activo el tratador entra en funcionamiento el siguiente segmento, que tiene como función principal realizar el escalamiento del valor de intensidad recibido de la interfaz HMI y escalarlo a un valor de 0 a 32000 que es el rango que se escribirá en la salida analógica y va al variador de velocidad, para esto se hizo uso del bloque de función **S\_RTI** perteneciente a la librería **SCAL V2.0**



La justificación de los valores puestos en el bloque de función del anterior segmento se realizara en el aparatado de programación de control de temperatura en la página 72.

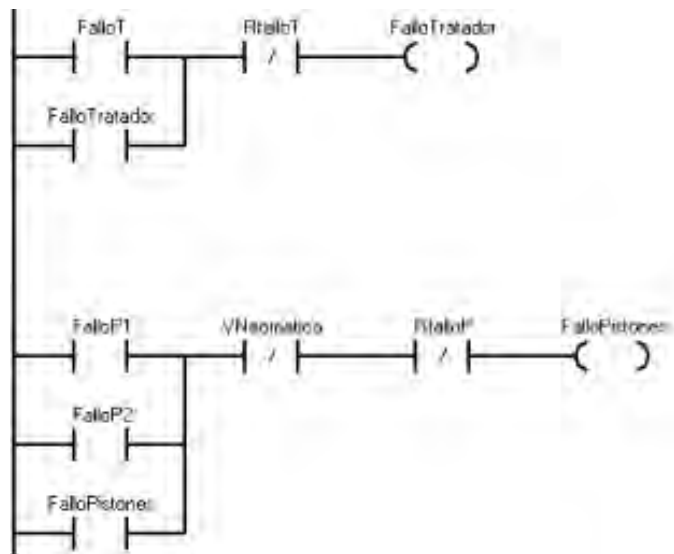
En el siguiente se segmento se encuentra la programación para la torre la cual funciona mientras se tenga pulsado en la interfaz HMI los pulsadores con las flechas hacia arriba y abajo, los cuales activan los contactos de **TorreUP** y **TorreDOWN** que a su vez activan los contactores correspondientes a la acción, también está diseñado para que por ningún motivo se activen los dos contactores al tiempo porque esto ocasionaría graves daños en el motor.



- **Alarmas para el control de control de la válvula neumática y tratadora corona.**

Las alarmas son generas internamente en el tratador debido a una sobrecarga o falla eléctrica y para el caso de los pistones con sensor electromagnético que censa la posición de los pistones.





Las alertas en la interfaz se muestran de la siguiente manera, la válvula se torna de color rojo si el contacto llamado **FalloPistones** se activa y la baliza del tratador corona se torna parpadeante si **FalloTratador** se activa.

**Figura 53** Pistones y Tratador en Fallo

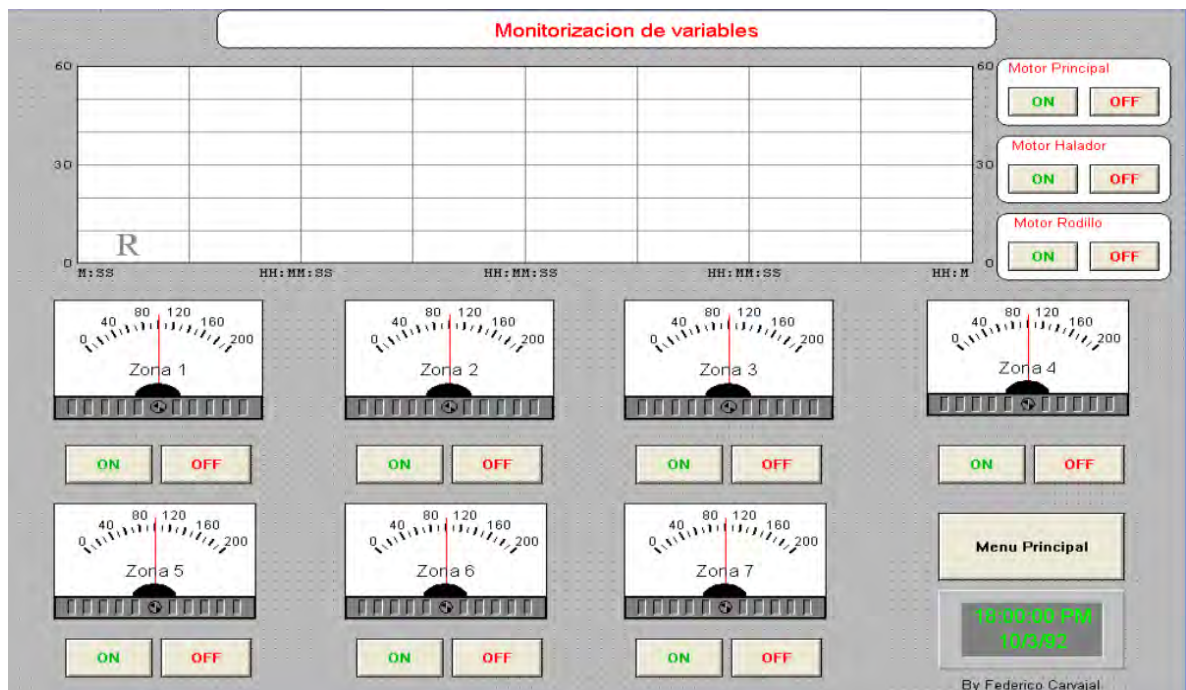


Fuente: Elaboración propia.

**1.7.5 Pantalla de monitorización** En el diseño de la interfaz hombre maquina se diseñó una pantalla de monitorización la cual lleva el seguimiento de los componentes principales de la máquina extrusora, La velocidad de los motores es mostrada en una gráfica de velocidad vs tiempo y se tiene la posibilidad de detener cada uno de ellos.

También se visualiza la temperatura de cada zona en medidores análogos para su mejor percepción y al igual que los motores con la posibilidad de apagar p encender cada zona.

**Figura 54** Pantalla de monitorización de principales componentes.



Fuente: Elaboración propia.

### 1.8 Etapa de selección de componentes

**1.8.1 Selección de computadora.** Teniendo en cuenta que la maquina extrusora puede permanecer encendida por lo menos una semana seguida, La computadora debe cumplir por lo menos con las siguientes especificaciones:

- **Procesador:** Intel® Core™ i3-4170 (3MB Caché, 3.70 GHz).
- **Monitor:** 23" VGA
- **Memoria:** 2 GB Un canal SDRAM DDR3 a 1600 MHz
- **Disco duro:** Sata de 250GB
- **Tarjeta de conexión:** Ethernet

Los softwares requeridos para la realización de la interfaz hombre máquina:

- **INTOUCH 9.5 SP1** o versiones posteriores, licenciado.
- **KEPserver**
- **Simatic Step7 MicroWin 4.0.1**

**1.8.2 Selección de PLC y módulos.** Debido a que los procesos realizados en la máquina extrusora no requieren gran capacidad de procesamiento fue escogido el PLC de SIEMENS S7-200 el cual está compuesto por:

- **CPU 224** referencia: 6ES7 214--1AD23--0XB0 **(x1)**
- **EM 222 Digital Output 8 x 24 VDC** referencia: 6ES7 222--1BF22--0XA0 **(x1)**
- **EM 231 Analog Input Thermocouple, 4 Inputs** referencia: 6ES7 231--7PD22--0XA0 **(x2)**
- **EM 232 Analog Output, 4 Outputs** referencia: 6ES7 232--0HD22--0XA0 **(x1)**
- **(CP 243--1) Ethernet Module** referencia: 6GK7 243--1EX00--0XE0 **(x2)**

Para más información de las características de cada uno de los componentes del PLC observar el datasheet ANEXOS.

**1.8.3 Selección de equipos para sistema de temperatura de zonas.** La selección de equipos para el sistema de control de temperatura de zonas se realizó partiendo de los componentes existentes en la maquina como son las resistencias que se encuentran en perfectas condiciones, en conjunto con las termocuplas tipo J.

Para más información sobre el voltaje entregado por cada grado centígrado aplicado en la termocupla observar en los ANEXOS.

Para los relés de estado sólido se consideró que el consumo de corriente para cada resistencia de zona es de aproximadamente 10A y en algunas zonas es necesario 2 de estas resistencias por lo tanto se deberá escoger un relé que soporte más de 20A y sea activado con una tensión DE 24Vdc, dicho lo anterior se escogió el siguiente:

### **Relevador de estado sólido de 40A de 24 a 380 Vca**

- Modelo: SSR-40DA
- Entrada: 3-32 VCD
- Salida: 24-380 VAC 40A/250V
- Medidas: 57.5 LX 44.8 WX 31.5 H mm.
- Fases: Una fase

**Clave: SHT-042**



**1.8.4 Selección de equipos para sistema de control de motores.** Este sistema se utilizarán todos los componentes existentes en la máquina, los variadores de velocidad marca YASKAWUA de la línea J1000 para los motores de rodillo embobinador y la línea V1000 para el motor principal, relé térmicos.

**1.8.5 Selección de componentes para sistema de tensión de rodillos.** La máquina extrusora ya cuenta con un sistema de válvula neumática y pistones con su respectivo juego de tubos flexibles y racores que permiten la conexión de estos, los cuales se encuentran en excelentes condiciones y son los siguientes:

- Válvula Neumática Festo 5/2 monoestable 2 tensión 24Vdc



- Pistones neumáticos de doble efecto Festo



- Diámetro: 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125 mm
- Carrera: 10 ... 2000 mm
- Fuerza: 483 ... 7360 N
- Doble efecto
- Detección de posiciones
- Amortiguación regulable

CRDNG CRDNGS

Para saber más sobre las especificaciones técnicas de la válvula neumática observar el Datasheet en ANEXOS

**1.8.6 Selección de componentes para el sistema del tratador corona y turbina.** Los componentes necesarios para estos dos sistemas son 2 relevos electromecánicos con las siguientes características:



- **Bobina, Resistencia:** 1.1kohm
- **Tipo de Bobina:** Sin Enclavamiento
- **Tensión de la Bobina:** 24VDC
- **Contacto, Configuración:** DPDT
- **Corriente de Contacto:** 5A
- **Contacto, Material:** Aleación de Plata
- **Tensión de Contacto VAC:** 250V
- **Tensión de Contacto VDC:** 30V
- **Rango de Producto:** Serie G2R
- **Relé, Montaje:** Agujero Pasante
- **Relé, Terminales:** Soldar
- **Relé, Tipo:** Potencia - Uso General
- **Sustancia Extremadamente Preocupante (SVHC):** No SVHC (16-Jun-2014)

**1.8.7 Selección de equipos para sistema de control de torre.** Este sistema cuenta con 2 contactores pero no se encuentran en las mejores condiciones por lo tanto los nuevos contactores y la protección térmica cuentan con las siguientes características.



Brand Name	Siemens
Coil Voltage	24 Volts
Contact Type	1 NO
EAN	0754554410456
Number of Items	1
Part Number	3RT10161BB41
UNSPSC Code	39121529
UPC	754554410456





**1.8.8 Presupuesto para el sistema de control y supervisión.** El desarrollo de sistema de control y supervisión de la temperatura de zonas, velocidad de motores, tensión en los rodillos, tratador corona, y control de la torre. Son escogidos de acuerdo a los parámetros de trabajo y el estado en que se encuentren en la máquina de sistemas anteriores, en el siguiente cuadro se registra la cantidad y el costo de los dispositivos que componen el proyecto.

ELEMENTOS	ITEM	FUNCION	COSTO UNIDAD (COP)	CANT	TOTAL
<b>Computador Y softwares</b>	Equipo de escritorio	Equipo donde estarán instalados los softwares	\$1.440.868	1	\$1.440.868
	Software INTOUCH y KEPserver	permite realizar la interfaz HMI	\$2.993.700	1	\$2.993.700
	Software Simatic Step 7 MicroWin	Programa el PLC	\$826.272	1	\$826.272
<b>PLC</b>	<b>Fuente de alimentación para PLC</b> Referencia: 6EP13321SH3 1	Alimenta el PLC y sus módulos	\$393.053	1	\$393.053
	<b>CPU 224</b> referencia: 6ES7 214-- 1AD23--0XB0	Equipo de control principal	\$1.816.077	1	\$1.816.077
	<b>EM 222 Digital Output 8 x 24 VDC</b> referencia: 6ES7 222-- 1BF22--0XA0	Módulo de salidas digitales	\$662.394	1	\$662.394



	<b>EM 231 Analog Input Thermocouple , 4 Inputs</b> referencia: 6ES7 231-- 7PD22--0XA0	Módulo de entradas análogas para termocupla s	\$1.681.234	2	\$3.362.468
	<b>EM 232 Analog Output, 4 Outputs</b> referencia: 6ES7 232-- 0HD22--0XA0	Módulo de salidas análogas	\$1.490.292	1	\$1.490.292
	<b>(CP 243--1) Ethernet Module</b> referencia: 6GK7 243-- 1EX00--OXE0	Módulo de comunicaci ón Ethernet	\$1.334.085	1	\$1.334.085
<b>Sistema de temperatura de zonas</b>	Relevador de estado solido 40A in:24Vdc out: 24-380Vac	Encender las resistencia s	\$65.000	7	\$455.000
<b>Sistemas de Tratador corona y turbina.</b>	Relevos electromecánic os 5A in: 24Vdc out: 30Vdc	Encender el tratador y la turbina.	\$32.000	2	\$64.000
<b>Sistema de control de torre.</b>	Contactores SIEMENS activación :24VDC	Determina n el sentido de giro del motor de la torre	\$154.000	2	\$308.000
	Protección térmica	Evitan que exista una sobre carga de trabajo en el motor	\$110.000	1	\$110.000
<b>Elementos de conexión</b>	Cable UTP blindado	Conexión entre PLC y HMI	\$4.000	8	\$32.000

	Cable de potencia AWG 16	Cable de alimentación de 110Vac y 220Vac	\$7.500	25	\$187.500
	Terminales de conexión	Empalmes para conexiones	\$3.500	40	\$140.000
	Cables de conexión de baja potencia	Conexiones internas del PLC	\$1.500	20	\$30.000
<b>Elementos varios</b>	Armario para componentes	Armario anti polvo y humedad	\$456.000	1	\$456.000
<b>Mano de obra</b>	Diseñador electrónico	Encargado de diseñar el sistema de control y supervisión de la extrusora.	\$1.500.000	1	\$1.500.000
	Técnico mecatrónico	Encargados de hacer el montaje del sistema diseñado	\$800.000	2	\$1.600.00
			Total		\$17.603.309

## Conclusiones

Para el desarrollo del sistema de control se debe tener en cuenta un análisis sobre el proceso de producción, así como el funcionamiento de los componentes de la máquina, debido a que la persona que realizó las modificaciones y actualizaciones de la máquina ya no se encuentra trabajando en la empresa INCOLPA LTDA y no se dejó documentado estas modificaciones. Se tuvo que adquirir la información del funcionamiento de la máquina por medio de la interacción con las personas que conviven a diario con las extrusoras de polietileno como operarios, personal de mantenimiento y jefes de producción.

La integración de medición de variables con un sistema SCADA tiene una gran ventaja porque se tiene mayor control y supervisión de las variables permitiendo crear tendencias y estadísticas del funcionamiento de la máquina extrusora.

En el planteamiento del proyecto requería investigación e informaciones sobre diferentes áreas de ingeniería, se tuvo que indagar personas expertas en el campo electrónico, mecánico, eléctrico e industrial.

A partir del sistema SCADA desarrollado se integraron aplicaciones en áreas de instrumentación como los sensores temperatura, posición, actuadores, válvulas y automatización donde se encuentran el PLC en el cual se ejecutan las estrategias de control y programación, pero en el área de comunicación se encuentra en papel muy importante en este proyecto porque es la que permite la interacción de los equipos de medición, PLC y la computadora que es donde se desarrolla la interfaz humano-máquina.

Para el diseño la interfaz HMI en los sistemas SCADA se tuvieron en cuenta algunas normas para la creación de este tipo de interfaces como lo son los códigos de colores establecidos, las dimensiones de botones, la estructura, la fluidez de la pantalla y las gráficas deben cumplir con el objetivo de que el usuario pueda tener una interacción lo más amena posible.

## Bibliografía

ACEDO, Jose. Instrumentación y control avanzado de procesos. Santo Domingo: Ediciones Díaz de Santos, 2006. 609 p.

BUITRÓN DE LA TORRE, Martin. Diseño de ambientes virtuales: Consideraciones para el diseño de interfaces gráficas de usuario. México DF: Universidad Autónoma Metropolitana. 2004. 235 p.

Frados James. Plastics Engineering Handbook Society of Plastics Industry Inc. Cuarta Edicion, New York: Full Plastic. 1976. 119 p.

GONZÁLEZ, O. y GÓMEZ, M. Plastic Extrusion Technology Munich: Hanser Publisher, 1988. 123 p.

ICONTEC. *NTC 1461 HIGIENE Y SEGURIDAD. COLORES Y SEÑALES DE SEGURIDAD*. Bogotá: ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2003. 55 p.

MEDINA, Fabian. CURSO AUTOMATIZACIÓN II: Sistemas SCADA. México DF: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 2011. 459 p.

MOLINARI, Norberto. Controladores lógicos programables –PLC–. INET. Buenos Aires: TECH. 2004. 159 p.

MORTON, Jones. Técnicas de Extrusión: Procesamiento de Plásticos. México DF: Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, 1993. 099p.

RODRÍGUEZ PENIN, Andrew. *SISTEMAS SCADA*. Barcelona: Marcombo. 2007. 341 p.

RUÍZ. E., INCHE, J., & CHUNG, A. Desarrollo de una interfaz hombre máquina orientada al control de procesos. La Paz: *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 2008. 72 p.

SENSOR DE TEMPERATURA [en línea]. Colombia [consultado marzo de 2015]  
Disponible en Internet:

Thermocouples: a sensor for measuring temperature"., Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE (Volume:8 , Issue: 1 ) Pag 35 – 40

ULRICH, Karl; EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos. 3 Ed  
México: McGraw-Hill. 2005. 158 p.

## Anexos

### Anexo A. Especificaciones de la CPU 224

	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP CPU 224XPsi	CPU 226
<b>Memory</b>					
User program size with run mode edit without run mode edit	4096 bytes 4096 bytes		8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
User data	2048 bytes		8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Backup (super cap)	50 hours typical (8 hours min. at 40°C)		100 hours typical (70 hours min. at 40°C)	100 hours typical (70 hours min. at 40°C)	
(optional battery)	200 days typical		200 days typical	200 days typical	
<b>I/O</b>					
Digital I/O	6 inputs/4outputs	8 inputs/6 outputs	14 inputs/10 outputs	14 inputs/10 outputs	24 inputs/16 outputs
Analog I/O	none			2 inputs/1 output	none
Digital I/O image size	256 (128 In/128 Out)				
Analog I/O image size	None	32 (16 In/16 Out)	64 (32 In/32 Out)		
Max. expansion modules allowed	None	2 modules <sup>1</sup>	7 modules <sup>1</sup>		
Max. intelligent modules allowed	None	2 modules <sup>1</sup>	7 modules <sup>1</sup>		
Pulse Catch inputs	6	8	14		24
High-Speed Counters Single phase	4 counters total 4 at 30 kHz		6 counters total 6 at 30 kHz	6 counters total 4 at 30 kHz 2 at 200 kHz	6 counters total 6 at 30 kHz
Two phase	2 at 20 kHz		4 at 20 kHz	3 at 20 kHz 1 at 100 kHz	4 at 20 kHz
Pulse outputs	2 at 20 kHz (DC outputs only)			2 at 100 kHz (DC outputs only)	2 at 20 kHz (DC outputs only)

0

General		
Timers	256 total timers; 4 timers (1 ms); 16 timers (10 ms); 236 timers (100 ms)	
Counters	256 (backed by super capacitor or battery)	
Internal memory bits Stored on power down	256 (backed by super capacitor or battery) 112 (stored to EEPROM)	
Timed interrupts	2 with 1 ms resolution	
Edge interrupts	4 up and/or 4 down	
Analog adjustment	1 with 8 bit resolution	2 with 8 bit resolution
Boolean execution speed	0.22 $\mu$ s per instruction	
Real Time Clock	Optional cartridge	Built-in
Cartridge options	Memory, Battery, and Real Time Clock	Memory and battery
Communications Built-in		
Ports (Limited Power)	1 RS-485 port	2 RS-485 ports
PPI, DP/T baud rates	9.6, 19.2, 187.5 kbaud	
Freeport baud rates	1.2 kbaud to 115.2 kbaud	
Max. cable length per segment	With isolated repeater: 1000 m up to 187.5 kbaud, 1200 m up to 38.4 kbaud Without isolated repeater: 50 m	
Max. number of stations	32 per segment, 126 per network	
Max. number of masters	32	
Peer to Peer (PPI Master Mode)	Yes (NETR/NETW)	
MPI connections	4 total, 2 reserved (1 for a PG and 1 for an OP)	

<sup>1</sup> You must calculate your power budget to determine how much power (or current) the S7-200 CPU can provide for your configuration. If the CPU power budget is exceeded, you may not be able to connect the maximum number of modules. See Appendix A for CPU and expansion module power requirements, and Appendix B to calculate your power budget.

## Anexo B. Módulo de salidas Digitales

Order Number	Expansion Model	Digital Inputs	Digital Outputs	Removable Connector
6ES7 221-1BF22-0XA0	EM 221 Digital Input 8 x 24 VDC	8 x 24 VDC	-	Yes
6ES7 221-1EF22-0XA0	EM 221 Digital Input 8 x 120/230 VAC	8 x 120/230 VAC	-	Yes
6ES7 221-1BH22-0XA0	EM 221 Digital Input 16 x 24 VDC	16 x 24 VDC	-	Yes
6ES7 222-1BD22-0XA0	EM 222 Digital Output 4 x 24 VDC-5A	-	4 x 24 VDC-5A	Yes
6ES7 222-1HD22-0XA0	EM 222 Digital Output 4 x Relays-10A	-	4 x Relay-10A	Yes
6ES7 222-1BF22-0XA0	EM 222 Digital Output 8 x 24 VDC	-	8 x 24 VDC-0.75A	Yes
6ES7 222-1HF22-0XA0	EM 222 Digital Output 8 x Relays	-	8 x Relay-2A	Yes
6ES7 222-1EF22-0XA0	EM 222 Digital Output 8 x 120/230 VAC	-	8 x 120/230 VAC	Yes
6ES7 223-1BF22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 4 Inputs/4 Outputs	4 x 24 VDC	4 x 24 VDC-0.75A	Yes
6ES7 223-1HF22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 4 Inputs/4 Relay Outputs	4 x 24 VDC	4 x Relay-2A	Yes
6ES7 223-1BH22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 8 Inputs/8 Outputs	8 x 24 VDC	8 x 24 VDC-0.75A	Yes
6ES7 223-1PH22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 8 Inputs/8 Relay Outputs	8 x 24 VDC	8 x Relay-2A	Yes
6ES7 223-1BL22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 16 Inputs/16 Outputs	16 x 24 VDC	16 x 24 VDC-0.75A	Yes
6ES7 223-1PL22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 16 Inputs/16 Relay Outputs	16 x 24 VDC	16 x Relay-2A	Yes
6ES7 223-1BM22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 32 Inputs/32 Outputs	32 x 24 VDC	32 x 24 VDC-0.75 A	Yes
6ES7 223-1PM22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 32 Inputs/32 Relay Outputs	32 x 24 VDC	32 x Relay-2 A	Yes

Order Number	Module Name and Description	Dimensions (mm) (W x H x D)	Weight	Dissipation	VDC Requirements +5 VDC	+24 VDC
6ES7 221-1BF22-0XA0	EM 221 DI 8 x 24 VDC	46 x 80 x 62	150 g	2 W	30 mA	ON: 4 mA/input
6ES7 221-1EF22-0XA0	EM 221 DI 8 x 120/230 VAC	71.2 x 80 x 62	160 g	3 W	30 mA	-
6ES7 221-1BH22-0XA0	EM 221 DI 16 x 24 VDC	71.2 x 80 x 62	160 g	3 W	70 mA	ON: 4 mA/input
6ES7 222-1BD22-0XA0	EM 222 DO 4 x 24 VDC-5A	46 x 80 x 62	120 g	3 W	40 mA	-
6ES7 222-1HD22-0XA0	EM 222 DO 4 x Relays-10A	46 x 80 x 62	150 g	4 W	30 mA	ON: 20 mA/output
6ES7 222-1BF22-0XA0	EM 222 DO 8 x 24 VDC	46 x 80 x 62	150 g	2 W	50 mA	-
6ES7 222-1HF22-0XA0	EM 222 DO 8 x Relays	46 x 80 x 62	170 g	2 W	40 mA	ON: 9 mA/output
6ES7 222-1EF22-0XA0	EM 222 DO 8 x 120/230 VAC	71.2 x 80 x 62	165 g	4 W	110 mA	-
6ES7 223-1BF22-0XA0	EM 223 24 VDC 4 In/4 Out	46 x 80 x 62	160 g	2 W	40 mA	ON: 4 mA/input
6ES7 223-1HF22-0XA0	EM 223 24 VDC 4 In/4 Relays	46 x 80 x 62	170 g	2 W	40 mA	ON: 9 mA/output, 4 mA/input
6ES7 223-1BH22-0XA0	EM 223 24 VDC 8 In/8 Out	71.2 x 80 x 62	200 g	3 W	80 mA	ON: 4 mA/input
6ES7 223-1PH22-0XA0	EM 223 24 VDC 8 In/8 Relays	71.2 x 80 x 62	300 g	3 W	80 mA	ON: 9 mA/output, 4 mA/input
6ES7 223-1BL22-0XA0	EM 223 24 VDC 16 In/16 Out	137.3 x 80 x 62	360 g	6 W	160 mA	ON: 4 mA/input
6ES7 223-1PL22-0XA0	EM 223 24 VDC 16 In/16 Relays	137.3 x 80 x 62	400 g	6 W	150 mA	ON: 9 mA/output, 4 mA/input
6ES7 223-1BM22-0XA0	EM 223 24 VDC 32 In/32 Out	196 x 80 x 62	500 g	9 W	240 mA	ON: 4 mA/input
6ES7 223-1PM22-0XA0	EM 223 24 VDC 32 In/32 Relay	196 x 80 x 62	580 g	13 W	205 mA	ON: 9 mA/output 4 mA/input



General	24 VDC Output		Relay Output		120/230 VAC Output
	0.75 A	5 A	2 A	10 A	
Type	Solid state-MOSFET (Sourcing)		Dry contact		Triac, zero-cross turn-on
Rated voltage	24 VDC		24 VDC or 250 VAC		120/230 VAC
Voltage range	20.4 to 28.8 VDC		5 to 30 VDC or 5 to 250 VAC	12 to 30 VDC or 12 to 250 VAC	40 to 264 VAC (47 to 63 Hz)
24 VDC coil power voltage range	-		20.4 to 28.8 VDC		-
Surge current (max.)	8 A for 100 ms	30 A	5 A for 4 s @ 10% duty cycle	10 A for 4 s @ 10% duty cycle	5 A rms for 2 AC cycles
Logic 1 (min.)	20 VDC		-		L1 (-0.9 V rms)
Logic 0 (max.)	0.1 VDC with 10 K $\Omega$ Load	0.2 VDC with 5 K $\Omega$ Load	-		-
Rated current per point (max.)	0.75 A	5 A	2.00 A	10 A resistive; 2 A DC inductive; 3 A AC inductive	0.5 A AC1
Rated current per common (max.)	10 A	5 A	10 A	10 A	0.5 A AC
Leakage current (max.)	10 $\mu$ A	30 $\mu$ A	-		1.1 mA rms at 132 VAC and 1.8 mA rms at 264 VAC
Lamp load (max.)	5 W	50 W	30 W DC/ 200 W AC <sup>4,5</sup>	100 W DC/ 1000 W AC	60 W
Inductive clamp voltage	L+ minus 48 V	L+ minus 47 V <sup>6</sup>	-		-
On state resistance (contact)	0.3 $\Omega$ typical (0.6 $\Omega$ max.)	0.05 $\Omega$ max.	0.2 $\Omega$ max. when new	0.1 $\Omega$ max. when new	410 $\Omega$ max. when load current is less than 0.05A
Isolation	Optical (galvanic, field to logic) Coil to logic Coil to contact Resistance (coil to contact) Isolation groups See wiring diagram		- None 1500 VAC for 1 minute 100 M $\Omega$ min. when new See wiring diagram		1500 VAC for 1 minute - - - 1 point
Delay Off to On/On to Off (max.) Switching (max.)	50 $\mu$ s / 200 $\mu$ s	500 $\mu$ s	- 10 ms	- 15 ms	0.2 ms + 1/2 AC cycle -
Switching frequency (max.)	-		1 Hz		10 Hz
Lifetime mechanical cycles	-		10,000,000 (no load)	30,000,000 (no load)	-
Lifetime contacts	-		100,000 (rated load)	30,000 (rated load)	-
Output on simultaneously	All at 55° C (horizontal), All at 45° C (vertical)			All at 55° C (horizontal) with 20A max. module current. All at 45° C (vertical) with 20A max. module current <sup>5</sup> . All at 40 °C (horizontal) with 10A per point	All at 55° C (horizontal), All at 45° C (vertical)
Connecting two outputs in parallel	Yes, only outputs in same group		No		No
Cable length (max.)	500 m 150 m		500 m 150 m		500 m 150 m

## Anexo C. Entrada analógica para termocuplas

General	6ES7 231-7PD22-0XA0 Thermocouple	6ES7 231-7PB22-0XA0 RTD
Isolation		
Field to logic	500 VAC	500 VAC
Field to 24 VDC	500 VAC	500 VAC
24 VDC to logic	500 VAC	500 VAC
Common mode input range (input channel to input channel)	120 VAC	0
Common mode rejection	> 120 dB at 120 VAC	> 120 dB at 120 VAC
Input type	Floating TC	Module ground referenced RTD
Input ranges <sup>1</sup>	TC types (select one per module) S, T, R, E, N, K, J Voltage range : +/- 80 mV	RTD types (select one per module): platinum (Pt), copper (Cu), nickel (Ni), or Resistance See Table A-31 for available RTD types.
Input resolution		
Temperature	0.1° C / 0.1° F	0.1° C / 0.1° F
Voltage	15 bits plus sign	-
Resistance	-	15 bits plus sign
Measuring Principle	Sigma-delta	Sigma-delta
Module update time: All channels	405 ms	405 ms (700 ms for Pt10000)
Wire length	100 meters to sensor max.	100 meters to sensor max.
Wire loop resistance	100Ω max.	20Ω, 2.7Ω for Cu max.
Suppression of interference	85 dB at 50 Hz/60 Hz/ 400 Hz	85 dB at 50 Hz/60 Hz/400 Hz
Data word format	Voltage: -27648 to + 27648	Resistance: 0 to +27648
Maximum sensor dissipation	-	1m W
Input impedance	≥1 MΩ	≥ 10 MΩ
Maximum input voltage	30 VDC	30 VDC (sense), 5 VDC (source)
Input filter attenuation	-3 db at 21 kHz	-3 db at 3.6 kHz
Basic error	0.1% FS (voltage)	0.1% FS (resistance)
Repeatability	0.05% FS	0.05% FS
Cold junction error	±1.5° C	-
24 VDC supply voltage range	20.4 to 28.8 VDC (Class 2, Limited Power, or sensor power from PLC)	

<sup>1</sup> The input range selection (temperature, voltage on resistance) applies to all channels on the module.

## Anexo D. Módulo de salidas análogas

Order Number	Expansion Model	Digital Inputs	Digital Outputs	Removable Connector
6ES7 221-1BF22-0XA0	EM 221 Digital Input 8 x 24 VDC	8 x 24 VDC	-	Yes
6ES7 221-1EF22-0XA0	EM 221 Digital Input 8 x 120/230 VAC	8 x 120/230 VAC	-	Yes
6ES7 221-1BH22-0XA0	EM 221 Digital Input 16 x 24 VDC	16 x 24 VDC	-	Yes
6ES7 222-1BD22-0XA0	EM 222 Digital Output 4 x 24 VDC-5A	-	4 x 24 VDC-5A	Yes
6ES7 222-1HD22-0XA0	EM 222 Digital Output 4 x Relays-10A	-	4 x Relay-10A	Yes
6ES7 222-1BF22-0XA0	EM 222 Digital Output 8 x 24 VDC	-	8 x 24 VDC-0.75A	Yes
6ES7 222-1HF22-0XA0	EM 222 Digital Output 8 x Relays	-	8 x Relay-2A	Yes
6ES7 222-1EF22-0XA0	EM 222 Digital Output 8 x 120/230 VAC	-	8 x 120/230 VAC	Yes
6ES7 223-1BF22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 4 Inputs/4 Outputs	4 x 24 VDC	4 x 24 VDC-0.75A	Yes
6ES7 223-1HF22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 4 Inputs/4 Relay Outputs	4 x 24 VDC	4 x Relay-2A	Yes
6ES7 223-1BH22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 8 Inputs/8 Outputs	8 x 24 VDC	8 x 24 VDC-0.75A	Yes
6ES7 223-1PH22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 8 Inputs/8 Relay Outputs	8 x 24 VDC	8 x Relay-2A	Yes
6ES7 223-1BL22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 16 Inputs/16 Outputs	16 x 24 VDC	16 x 24 VDC-0.75A	Yes
6ES7 223-1PL22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 16 Inputs/16 Relay Outputs	16 x 24 VDC	16 x Relay-2A	Yes
6ES7 223-1BM22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 32 Inputs/32 Outputs	32 x 24 VDC	32 x 24 VDC-0.75 A	Yes
6ES7 223-1PM22-0XA0	EM 223 24 VDC Digital Comb 32 Inputs/32 Relay Outputs	32 x 24 VDC	32 x Relay-2 A	Yes

Order Number	Module Name and Description	Dimensions (mm) (W x H x D)	Weight	Dissipation	VDC Requirements +5 VDC +24 VDC
6ES7 221-1BF22-0XA0	EM 221 DI 8 x 24 VDC	46 x 80 x 62	150 g	2 W	30 mA ON: 4 mA/input
6ES7 221-1EF22-0XA0	EM 221 DI 8 x 120/230 VAC	71.2 x 80 x 62	160 g	3 W	30 mA -
6ES7 221-1BH22-0XA0	EM 221 DI 16 x 24 VDC	71.2 x 80 x 62	160 g	3 W	70 mA ON: 4 mA/input
6ES7 222-1BD22-0XA0	EM 222 DO 4 x 24 VDC-5A	46 x 80 x 62	120 g	3 W	40 mA -
6ES7 222-1HD22-0XA0	EM 222 DO 4 x Relays-10A	46 x 80 x 62	150 g	4 W	30 mA ON: 20 mA/output
6ES7 222-1BF22-0XA0	EM 222 DO 8 x 24 VDC	46 x 80 x 62	150 g	2 W	50 mA -
6ES7 222-1HF22-0XA0	EM 222 DO 8 x Relays	46 x 80 x 62	170 g	2 W	40 mA ON: 9 mA/output
6ES7 222-1EF22-0XA0	EM 222 DO 8 x 120/230 VAC	71.2 x 80 x 62	165 g	4 W	110 mA -
6ES7 223-1BF22-0XA0	EM 223 24 VDC 4 In/4 Out	46 x 80 x 62	160 g	2 W	40 mA ON: 4 mA/input
6ES7 223-1HF22-0XA0	EM 223 24 VDC 4 In/4 Relays	46 x 80 x 62	170 g	2 W	40 mA ON: 9 mA/output, 4 mA/input
6ES7 223-1BH22-0XA0	EM 223 24 VDC 8 In/8 Out	71.2 x 80 x 62	200 g	3 W	80 mA ON: 4 mA/input
6ES7 223-1PH22-0XA0	EM 223 24 VDC 8 In/8 Relays	71.2 x 80 x 62	300 g	3 W	80 mA ON: 9 mA/output, 4 mA/input
6ES7 223-1BL22-0XA0	EM 223 24 VDC 16 In/16 Out	137.3 x 80 x 62	360 g	6 W	160 mA ON: 4 mA/input
6ES7 223-1PL22-0XA0	EM 223 24 VDC 16 In/16 Relays	137.3 x 80 x 62	400 g	6 W	150 mA ON: 9 mA/output, 4 mA/input
6ES7 223-1BM22-0XA0	EM 223 24 VDC 32 In/32 Out	196 x 80 x 62	500 g	9 W	240 mA ON: 4 mA/input
6ES7 223-1PM22-0XA0	EM 223 24 VDC 32 In/32 Relay	196 x 80 x 62	580 g	13 W	205 mA ON: 9 mA/output 4 mA/input

## Anexo E. Módulo de conexión Ethernet

Order Number	Expansion Module	EM Inputs	EM Outputs	Removable Connector
6GK7 243-1EX00-0XE0	(CP 243-1) Ethernet Module	-	8 <sup>1</sup>	No

<sup>1</sup> Eight Q outputs are used as logical controls of Ethernet function and do not directly control any external signals.

Order Number	Module Name and Description	Dimensions (mm) (W x H x D)	Weight	Dissipation	VDC Requirement	
					+5 VDC	+24 VDC
6GK7 243-1EX00-0XE0	(CP 243-1) Ethernet Module	71.2 x 80 x 62	approx. 150 g	1.75 W	55 mA	60 mA

General	6GK7 243-1EX00-0XE0
Transmission Rate	10 Mbits/s and 100 Mbits/s
Flash memory size	1 Mbyte
SDRAM memory size	8 Mbyte
Interface Connection to Industrial Ethernet (10/100 Mbit/s)	8-pin RJ45 socket
Input voltage	20.4 to 28.8 VDC
Maximum connections	Maximum of 8 S7 connections (XPUT/XGET and READ/WRITE) plus 1 connection to STEP 7-Micro/WIN per (CP 243-1) Ethernet Module <sup>2</sup>
Starting time or restart time after a reset	Approx. 10 seconds
User data quantities	As client: up to 212 bytes for XPUT/XGET As server: up to 222 bytes for XGET or READ up to 212 bytes for XPUT or WRITE

<sup>2</sup> Only one (CP 243-1) Ethernet module should be connected per S7-200 CPU.

## Anexo F. Válvula neumática

Datos técnicos	MH..2	MH..3	MH..4
Fluido	Aire comprimido filtrado, con o sin lubricación; o vacío		
Temperatura del fluido/ temperatura ambiente	-5 ... +60 °C (tiempo de funcionamiento: 100 %)		
Margen de presión de funcionamiento	-0,9 ... +8 bar		
Clase de protección	IP65/IP40		
Caudal nominal normal	100 l/min	200 l/min	400 l/min
Ancho	10 mm	14 mm	18 mm
Consumo	5 W durante aprox. 3 ms después: 1,25 W	6,5 W durante aprox. 4,5 ms después: 1,6 W	8,5 W durante aprox. 6 ms después: 2,1 W
<b>Electroválvula con electrónica</b>			
Tiempo de respuesta ON/OFF	1,7 ms/2 ms (+10/-30 %)	2,3 ms/2 ms (+10/-30 %) 2,8 ms/2 ms (+10/-40 %)	3,5 ms/3,5 ms (+10/-30 %)
Frecuencia máx. de conmutación (temporalmente)*	330 Hz	280 Hz	210 Hz
<b>Electroválvula sin electrónica</b>			
Tiempo de respuesta ON/OFF (con supresión de arco voltaico)	7 ms/3,5 ms	8 ms/4,5	9 ms/5 ms

\* Frecuencia máx. de conmutación en funcionamiento continuo: bajo consulta